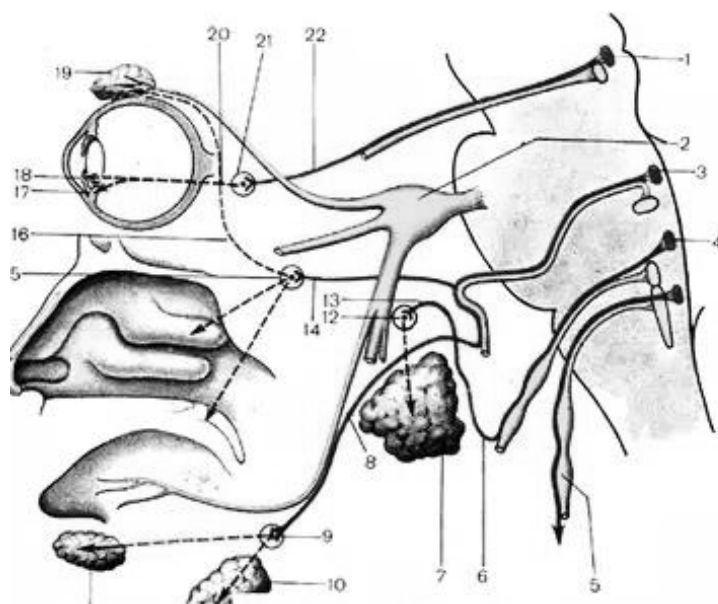


Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний педагогічний університет  
імені Г.С. Сковороди

Іонов І.А., Комісова Т.Є.



# ФІЗІОЛОГІЯ СЕНСОРНИХ СИСТЕМ



Харків – 2018

**Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний педагогічний університет  
імені Г.С. Сковороди**

Іонов І.А., Комісова Т.Є.



# **ФІЗІОЛОГІЯ СЕНСОРНИХ СИСТЕМ**

**Методичні рекомендації  
для студентів вищих навчальних закладів  
до лабораторних занять з курсу  
«Фізіологія людини»  
Частина 2. Фізіологія сенсорних систем**

Затверджено редакційно-видавничою  
радою Харківського національного  
педагогічного університету  
імені Г.С. Сковороди  
Протокол № 4 від 14.09.2016

**Харків – 2018**

УДК 611.84/.88

Іонов І.А. – доктор сільськогосподарських наук, професор  
Комісова Т.Є. – кандидат біологічних наук, доцент

**Рецензенти:**

**Бондаренко Валерій Антонович** – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри фізіології Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна;

**Маракушин Дмитро Ігорович** – кандидат медичних наук, доцент, завідувач кафедри фізіології Харківського національного медичного університету

*Затверджено редакційно-видавничою радою Харківського національного педагогічного університету імені Г.С. Сковороди  
Протокол № 4 від 14.09.2016*

Іонов І.А.

Фізіологія сенсорних систем: методичні рекомендації (видання друге – доповнено та перероблено) / І.А. Іонов, Т.Є. Комісова. – Х. : ФОП Петров В.В., 2018. – 45 с.

Методичні рекомендації підготовлено відповідно до навчальної програми з курсу «Фізіологія людини і тварин» розділу «Фізіологія сенсорних систем» для студентів біологічних спеціальностей педагогічних вузів, а також для студентів природничих факультетів та факультетів фізичної культури, магістрантів, аспірантів.

В методичних рекомендаціях розглядаються основні принципи організації і функціонування сенсорних систем взагалі і особливості кожної з систем; молекулярні і клітинні механізми трансдукції сенсорних сигналів; проведення і обробка сенсорної інформації в структурах центральної нервової системи; реалізація аферентної інформації в ефектних реакціях і побудові картини навколишнього світу. Розглядаються також питання еволюції і вікових особливостей у формуванні сенсорного сигналу різних органів почуттів, а також проблеми зміни роботи сенсорних систем при різних типах навантаження.

До рекомендацій включені лабораторні роботи по розділах зоровий аналізатор, слуховий аналізатор, руховий аналізатор, вестибулярний аналізатор, шкірна сенсорна система, смакова чутливість, складені у відповідність з теоретичним розділом курсу «Фізіологія сенсорних систем». Роботи розраховані на самостійне виконання їх студентами. Кожний розділ рекомендацій містить теоретичні відомості з теми, опис процедури проведення лабораторної роботи з малюнками та схемами, контрольні питання, тестові завдання та рекомендована література. Після виконання роботи студенти роблять висновки на підставі отриманих експериментальних досліджень. Для контролю рівня знань студентів з пройденого матеріалу в посібнику є контрольні питання.

Для студентів біологічних спеціальностей вищих навчальних закладів. Може бути корисним студентам, магістрантам та аспірантам вищих педагогічних, біологічних та інших навчальних закладів, де вивчають фізіологію людини.

## ЗМІСТ

| Розділи  | Стор. |
|--|-------|
| <b>ВСТУП</b>   | 4     |
| <b>СЕНСОРНІ СИСТЕМИ ОРГАНІЗМУ ЛЮДИНИ</b>   | 5     |
| <b>РОЗДІЛ 1. ФІЗІОЛОГІЯ ЗОРОВОГО АНАЛІЗАТОРА</b>   | 6     |
| <b>1.1. Фоторецептивна система людини і її значення</b>  | 6     |
| <b>1.2. Периферичний відділ зорової сенсорної системи</b>  | 7     |
| <b>1.3. Механізм фоторецепції</b>  | 10    |
| Лабораторна робота № 1. Сприйняття простору. Визначення гостроти зору та спостереження «сліпої плями»                                    | 10    |
| Лабораторна робота № 2. Визначення ахроматичного та кольорового поля зору  | 20    |
| Лабораторна робота № 3. Бінокулярний зір і методи його дослідження   | 24    |
| <b>РОЗДІЛ 2. ФІЗІОЛОГІЯ СЛУХОВОГО АНАЛІЗАТОРА</b>  | 25    |
| Лабораторна робота № 4. Визначення диференціальної чутливості слухового аналізатора  | 25    |
| <b>РОЗДІЛ 3. ФІЗІОЛОГІЯ ВЕСТИБУЛЯРНОГО АНАЛІЗАТОРА</b>   | 29    |
| Лабораторна робота № 5. Визначення диференційованої чутливості вестибулярного аналізатора  | 29    |
| <b>РОЗДІЛ 4. ФІЗІОЛОГІЯ РУХОВОГО АНАЛІЗАТОРА</b>   | 32    |
| Лабораторна робота № 6. Визначення диференціальної чутливості кінестетичного (рухового) аналізатора                                      | 32    |
| <b>РОЗДІЛ 5. ФІЗІОЛОГІЯ КОЖНОГО АНАЛІЗАТОРА</b>  | 35    |
| Лабораторна робота № 7.1. Визначення відносних і абсолютних порогів розрізнення маси (експериментальна перевірка закону Вебера-Фехнера). | 36    |
| Лабораторна робота № 7.2. Дослідження адаптації шкірного аналізатора   | 37    |
| <b>РОЗДІЛ 6. ФІЗІОЛОГІЯ СМАКОВОГО АНАЛІЗАТОРА</b>  | 38    |
| Лабораторна робота № 8.1. Визначення порогової смакової чутливості   | 39    |
| Лабораторна робота № 8.2. Визначення смакової адаптації  | 40    |
| Лабораторна робота № 8.3. Визначення смакового контрасту і змішання смаків   | 40    |
| Лабораторна робота № 8.4. Дослідження адаптації нюхового аналізатора   | 41    |
| <b>Література</b>  | 42    |

## ВСТУП

В посібнику розглядаються основні принципи організації і функціонуванні сенсорних систем взагалі і особливості кожної з систем; молекулярні і клітинні механізми трансдукції сенсорних сигналів; проведення і обробка сенсорної інформації в структурах центральної нервової системи; реалізація афферентної інформації в ефекторних реакціях і побудові картини навколишнього світу. Розглядаються також питання еволюції і вікових особливостей у формуванні сенсорного сигналу різних органів чуття, а також проблеми зміни роботи сенсорних систем при різних типах навантаження.

Розділ «Фізіологія сенсорних систем» ознайомлює студентів з основами теоретичних та практичних знань предмета. Метою освоєння дисципліни є формування наукових уявлень про механізми взаємодії живого організму з зовнішнім середовищем, значення і роль сенсорних систем в регуляції основних функцій живого організму.

У зв'язку з цим, під час лабораторних та практичних занять студенти повинні реєструвати показники, які відображають функціональну активність основних сенсорних систем при різних станах організму, їх аналізувати та робити висновки.

Навчальний посібник за своїм змістом відповідає чинній програмі з фізіології людини. Метою його є засвоєння студентами теоретичних знань та основних методик та методичних прийомів дослідження механізмів функціонування різних сенсорних систем, допомога студентам у реєстрації, аналізі та оцінці отриманих результатів дослідження.

Виходячи з цих положень, у навчальному посібнику, крім висвітлення експериментальних робіт, включена коротка сучасна теоретична інформація, яка націлює студентів на самостійну роботу з літературою, дозволяє більш глибоко усвідомити лабораторні роботи, акцентує увагу студентів на питаннях, що мають прикладне значення для теорії та практичної діяльності майбутнього викладача біології.

Методичні рекомендації призначено для студентів біологічних спеціальностей вищих навчальних закладів. Може бути корисним студентам, магістрантам та аспірантам вищих педагогічних, біологічних та інших навчальних закладів, де вивчають фізіологію людини.

## СЕНСОРНІ СИСТЕМИ ОРГАНІЗМУ ЛЮДИНИ

**Сенсорні системи** - це сукупність допоміжних утворень, рецепторів, нервових шляхів і центрів, подразнення яких призводить до появи специфічного чуття, характерного для даної сенсорної модальності. Основні функції сенсорної системи полягають у забезпеченні людині і тваринам виявлення, розрізнення і впізнання сигналів зовнішнього світу і формування сенсорних образів. Термін «сенсорні системи» (лат. *sensus* - чуття) змінив назву «органи чуття», що збереглося лише для позначення анатомічно відокремлених периферичних відділів деяких сенсорних систем (як, наприклад, очей або вух). У вітчизняній літературі як синонім сенсорної системи застосовується запропоноване І.П. Павловим поняття «аналізатор», що вказує на функцію сенсорної системи.

Всі сенсорні системи складаються з периферичних рецепторів, провідних шляхів і перемикальних ядер, первинних проєкційних областей кори і вторинної сенсорної кори. Сенсорні системи організовані ієрархічно, тобто включають кілька рівнів послідовної переробки інформації. Нижчий рівень такої переробки забезпечують первинні сенсорні нейрони, які розташовані в спеціалізованих органах чуттів або в чутливих гангліях і призначені для проведення збудження від периферичних рецепторів до центральної нервової системи. Периферичні рецептори - це чутливі високоспеціалізовані утворення, здатні сприйняти, трансформувати і передавати енергію зовнішнього стимулу первинним сенсорним нейронам. Центральні відростки первинних сенсорних нейронів закінчуються в головному або спинному мозку на нейронах другого порядку, тіла яких розташовані в комутаційному ядрі. У ньому є не тільки збуджуючі, а й гальмівні нейрони, які беруть участь в переробці інформації, що передається. Представляючи більш високий ієрархічний рівень, нейрони цього ядра можуть регулювати передачу інформації шляхом посилення одних і гальмування інших сигналів. Аксони нейронів другого порядку утворюють провідні шляхи до наступного комутаційного ядра, загальне число яких обумовлено специфічними особливостями різних сенсорних систем. Остаточна переробка інформації про чині стимулі відбувається в сенсорних областях кори.

Сенсорні системи людини забезпечують:

- 1) формування відчуттів і сприйняття діючих стимулів;
- 2) контроль довільних рухів;
- 3) контроль діяльності внутрішніх органів;
- 4) необхідний для неспання людини рівень активності мозку.

Відчуття - це суб'єктивна чуттєва реакція на діючий сенсорний стимул (наприклад, відчуття світла, тепла або холоду, дотику і т. п.). Однорідні сенсорні стимули активують одну з сенсорних систем і викликають суб'єктивно однакові відчуття, сукупність яких позначається терміном модальність. Самостійними модальностями є дотик, зір, слух, нюх, смак, відчуття холоду або тепла, болю, вібрації, відчуття положення кінцівок і

м'язового навантаження. Усередині модальностей можуть існувати різні якості, наприклад, у смакової модальності розрізняють солодкий, солоний, кислий і гіркий смак. На основі сукупності відчуттів формується чуттєве сприйняття, тобто осмислення відчуттів і готовність їх описати. Сприйняття не є простим відображенням діючого стимулу; воно залежить від розподілу уваги в момент його дії і суб'єктивного ставлення до подій, що виражається в емоційних переживаннях.

## РОЗДІЛ 1

### ФІЗІОЛОГІЯ ЗОРОВОГО АНАЛІЗАТОРА

#### *1.1. Фоторецептивна система людини і її значення*

Зір - один з найважливіших органів чуття людини (зоровий аналізатор дає більше 90% інформації, що йде до мозку від усіх рецепторів). Він еволюційно пристосований до сприйняття видимого світла - вузької частини діапазону електромагнітного випромінювання (від 400 до 800 нм).

Випромінювання з короткими хвилями (коротше 300 нм) має занадто високий рівень енергії (400 кДж/моль); воно здатне викликати пошкодження молекулярних комплексів. Сюди відносяться гамма-промені, рентгенівське і ультрафіолетове випромінювання, які є згубними для життєво важливих макромолекул. Вони поглинаються у верхніх шарах атмосфери захисним шаром озону, що останнім часом зазнає серйозного виснаження (озонова діра). Випромінювання з довгими хвилями (вище 900 нм) має низьку енергію і, за рідкісним винятком, не здатне впливати на живі організми. До нього відносяться інфрачервоні промені, мікрохвилі і радіохвилі, які поглинаються парами води в атмосфері. Однак існує вузька смуга довжин хвиль від 800 нм, звана видимим світлом, яка забезпечує всі фізіологічні реакції живих організмів, включаючи й інформаційні, де світло використовується для отримання відомостей про довкілля.

У різних тварин є свої робочі спектральні діапазони, наприклад, у бджоли це 300-650 нм, у людини - від 400 до 750 нм. У мешканців водного середовища сприймається світло обмежене ще більш вузьким діапазоном довжини хвиль в синьо-зеленій області спектра (500-600 нм) через фільтрацію випромінювання товщею води. На глибинах понад 1000 м сонячне світло майже повністю поглинається і зір має обумовлюватися світлом люмінесценції, що випускаються глибоководними мешканцями.

Найпростіший вид чутливості до світла - це здатність розрізняти інтенсивність дифузного освітлення. Цю фундаментальну властивість можна назвати світлочутливістю. Світлочутливістю володіють вже одноклітинні тварини, у яких, природно, не існує спеціалізованих зорових реакцій, а виявляється лише загальний тип реакцій клітини. Наприклад, у водорості евглени виявлені цитоплазматичні мембранні структури, що містять молекули світлочутливого пігменту. Поглинання світла цими пігментами призводить до зміни активно-ферментативних систем, що запускають зміну

рухової активності. Такого роду реакції називаються фототаксисом, або фототропізмом. Суть їх полягає в переміщенні всього організму або його частини в область, найбільш сприятливу для життєзабезпечення.

У більшості багатоклітинних організмів з'являються пристосування сприйняття швидких змін і локальних відмінностей в освітленні. Це називається фоторецепцією, або просто зором і здійснюється за допомогою спеціалізованих клітин - фоторецепторів. Падаючи на поверхню, світло відбивається від неї у різних напрямках неоднаково, внаслідок чого виникає контрастність. Основою зору є сприйняття контрастності між світлим і темним, що дає уявлення про форму і розміри предметів, відмінності між ними, їх взаємне розташування у просторі тощо. Хвилі різної довжини або поглинаються, або відбиваються від поверхні. Потрапляючи в око вони дають уявлення про колір. Отже, функція зорового аналізатору - сприйняття світлових і кольорових подразнень.

Зір - багатоланцюговий процес, що починається з проєкції зображення на сітківці ока, потім відбувається збудження фоторецепторів, передача і перетворення зорової інформації у нейронних шарах зорової системи, а закінчується зорове сприйняття прийняттям вищими кірковими відділами зорової системи рішенням про зорові образи. Отже, зоровий аналізатор складається з:

1. Кіркового відділу - потиличні зони кори великих півкуль.
2. Проміжного ядра - зовнішнє колінчасте тіло таламуса. Частина волокон зорового тракту закінчується також у верхніх буграх чотиригир'я підкірковому окоруховому центрі.
3. Периферичного відділу - сітківка, що поєднує у собі рецепторну частину (шар паличок і колбочок) і первинний проміжний центр, роль якого виконує вся сітківка як єдине ціле (аксони вихідних гангліозних клітин сітківки, що утворюють зоровий тракт, пов'язують її з першим проміжним ядром).

## ***1.2. Периферичний відділ зорової сенсорної системи***

Периферичним відділом зорового аналізатору є око. Німецький фізик Герман Гельмгольц у II половині минулого століття вивчав око тварин і встановив, що зорова інформація відбивається на сітківці так само, як і в будь-якій простій камері з лінзою: око створює перевернуте і зменшене зображення предметів. З цих простих даних почалося накопичення багатства знань про зорову систему, яким ми володіємо.

Тисячоліттями шліфуючи свої творіння, природа наділила кожную живу істоту таким органом зору, який для неї є найкращим. У коней, наприклад, зіниці горизонтальні - в плоских відкритих степах такий огляд найвигідніший. У котів і лисиць зіниці вертикальні — при такій будові ока легше знайти мишей у траві і птахів на деревах. Щілиноподібну зіницю має гігантська акула, якій доводиться берегти свої очі від світла під час плавання



у поверхневих водах. Птах вальдшнеп здатний бачити не лише вперед, але і вверх та назад, можна сказати, що він бачить потилицею - це дозволяє вчасно помітити небезпеку, особливо у таких випадках, коли його дзьоб опущений у ґрунт. Око риби анаблепи вирішує ще складніше завдання, так як вона живе на поверхні води то має око, розділене на 2 сектори - верхній бачить у повітрі; нижній - у воді. Одним поглядом анаблепа помічає відразу і птахів у небі, і рибу у водоймі - адже нападу можна чекати звідусіль.

У людини око складається з очного яблука, де знаходяться фоторецепторні клітини (оптичний апарат), та додаткових органів ока (допоміжний апарат), а саме: м'язів, повік, оболонок, слізного апарату.

### **Допоміжний апарат ока.**

Природа дуже бережно віднеслась до очей людини. Вона створила надійний захист і досконалу оптику. Очні яблука захищені у кісткових очних впадинах, їх захищають повіки, які автоматично закриваються; амортизаційне середовище очного яблука, слізна рідина, що зволожує око і змиває з нього чужорідні частини, та містить бактерицидну речовину лізоцим (розчиняє оболонки бактерій, захищаючи око від інфекції).

Слізна рідина у невеликих кількостях постійно виробляється слізозовими залозами. На смак солена, за складом близька до плазми крові. Завдяки рухам повік вона рівномірно розподіляється на рогівці й кон'юнктиві. Частина цієї рідини випаровується, а решта спливає слізозовими протоками до слізозового озера, а потім до порожнини носа. Слізова рідина захищає рогівку й кон'юнктиву від висихання і одночасно є своєрідним середовищем між очним яблуком і повіками. Крім того, завдяки слізозовій рідині поліпшуються оптичні властивості рогівки. У людини секреція слізозової рідини виконує ще одну важливу функцію — бере участь у вираженні емоцій, полегшує стресовий стан.

Більшість рефлексів, що зумовлюють збільшення секреції слізозової залози, запускаються з рецепторів, розміщених в очній ділянці, інформація від яких через трійчастий нерв передається до стовбура мозку. Проте підвищену секрецію слізозової залози можуть спричинити й сторонні стимули, наприклад зубний біль, механічне подразнення слизової оболонки носа, різкі смакові стимули або пахощі, а також чинники, що викликають кашель. Секрецію слізозової рідини регулює автономна нервова система.

Природа також пристосувала людину до різних світлових режимів за допомогою різних конституційних форм лицьового скелету (одні люди мають похилий лоб, виражені надбрівні дуги і вузькі глибоко розташовані в орбітах очі; інші - плоске лице з широкими орбітами і великими випуклими очима), вій (існувала думка, що довгі і густі вій від народження є не лише атрибутом краси, але і однією з ознак ослабленості організму - характерних для хворих на туберкульоз).

### **Будова очного яблука.**

Очне яблуко складається з 3-х оболонок – зовнішньої (волокнистої); середньої (судинної) і внутрішньої. Має шароподібну форму, що полегшує його повороти для наведення на об'єкт, на який ми дивимось, і забезпечує гарне фокусування зображення на сітківці.

Зовнішня оболонка ока — склера, або білкова оболонка. Це щільна (компактна) непрозора тканина білого кольору, товщиною біля 1 мм. В передній частині вона переходить в прозору рогівку - тонку вигнуту прозору оболонку, з якої починається процес фокусування світлових променів. У дітей склера тонша та еластичніша, здатна до розтягнення, а рогівка товща і випукла. З віком рогівка стає щільнішою і її заломлююча сила зменшується.

Під склерою знаходиться судинна оболонка ока (0,2 - 0,4 мм). Вона містить велику кількість кровоносних судин. В передньому відділі очного яблука судинна оболонка переходить у війчасте (циліарне) тіло і райдужну оболонку (радужка - колові м'язи, що змінюють кількість потрапляючого в око світла, звужуючи отвір, та радіальні м'язи - розширюють отвір, що знаходиться в її центрі - зіницю; радужка має різне забарвлення).

Тканина райдужної оболонки містить особливий барвник — меланін. В залежності від кількості цього пігменту колір райдужки коливається від сірого і голубого до коричневого, майже чорного. Кольором радужки визначається колір очей. При відсутності пігменту (людей з такими очима називають альбіносами) промені світла проникають в око не лише через зіницю, але й через тканину райдужки. У альбіносів очі мають червонуватий відтінок. У них нестача пігменту у райдужці часто супроводжується недостатньою пігментацією шкіри та волосся. Зір у таких людей понижений. Вчені провели експеримент, у якому показали, що одне і теж джерело світла викликає у корі головного мозку у світлооких людей сильніший активуючий ефект, ніж у людей з темними очима.

Тривалість і характер сновидінь залежить від кольору очей - нервова система у голубооких більш збуджена, ніж у карооких (зіниці при яскравому освітленні у блакитнооких бувають ширшими, через те, що радужка у них тонша і її нейромоторний апарат слабший). Тобто, світлоокі мають слабкі світлові фільтри, а отже й понижене захисну функцію ока, і навпаки, кароокі мають сильні світлові фільтри, здатні захистити їх від інтенсивного опромінення. В світовому масштабі блакитний колір домінує у людей північних країн, коричневий - середньо-північних, чорний - в екваторіальних. Блакитноокі краще себе почувають у похмуро-прохолодній частині Європи, а кароокі - в умовах півдня. Виключення - корінні жителі Крайньої Півночі і Аляски. Вони мають темні очі, так як снігова ковдра, що покриває землю у цих місцях, відбиває 95 % сонячних променів (звичайно відбивається 10-20 % сонячної енергії). Переїзд світлоокої людини з півночі на південь може викликати реакції перезбудження (підвищена нервозність, схильність до спазмів), темноокої з півдня на північ - реакції деактивації (слабкість, схильність до застою і тромбоутворення). На практиці це проявляється у

легкій формі і не у всіх людей. Адаптація зіниці до світлової енергії з віком слабшає, тому люди похилого віку важче переносять світлову акліматизацію.

### ***1.3. Механізми фоторецепції***

Кванти світла поглинаються в рецепторах спеціалізованими молекулами - так званими каротиноїдами, - хромопротеїнами. Однак спектр поглинання молекули обумовлюється не всією молекулою в цілому, а групою атомів (хромофором). В якості хромофора, що визначає максимум і інтенсивність поглинання світла в зорових пігментах, виступають альдегіди вітаміну А, або ретіналь. У всіх зорових пігментах ретіналь завжди знаходиться в 11-цисформі, у вигляді цис-ретиналю. У нормі 11-цисретіналь пов'язаний з безкольоровим білком опсином, утворюючи зоровий пігмент родопсин з максимумом поглинання 500 нм, який служить універсальним медіатором фоторецепції у тварин. При поглинанні фотона відбувається реакція цис-трансїзомерізації ретиналю, яка через ряд проміжних стадій призводить до відщеплення ретиналю від опсина з виділенням вільної енергії. При цьому молекула втрачає колір, і цей ефект називають вицвітанням, або знебарвленням. Це перший ступінь вицвітання родопсина, що приводить до утворення інтенсивно забарвленого прелюміродопсина. При подальших перетвореннях утворюються люміродопсин і темно-оранжевий метародопсин І. Останній переходить у світло-жовтий метародопсин ІІ.

Процес зорового збудження запускається в період між утворенням люмі- і метародопсина ІІ. Відновлення родопсину хребетних здійснюється шляхом ферментативного ресинтезу.

## **Лабораторна робота № 1**

### **Сприйняття простору. Визначення гостроти зору та спостереження «сліпої плями»**

#### **Теоретичне обґрунтування.**

В нашому житті зір має дуже велике значення – до 90 % інформації від зовнішнього світу ми отримуємо завдяки зору.

Фрідріх Фріз 1818 р. : «Тільки зір дозволяє проникнути за межі Землі, до зірок, а на самій Землі воно дарує найбільше вражень, охоплює найдовші відстані та забезпечує максимальну легкість розуміння. Людина, що може бачити, сприймає все життя природи навколо себе через світло та кольори; око надає сенсу нашому життю».

Адекватним подразником для ока є світло - електромагнітні хвилі довжиною 400 -750 нм. Більш короткі (ультрафіолетові) і довші (інфрачервоні) промені оком людини не сприймаються.

Заломлює світлові промені апарат ока - рогівка і кришталик, які фокусують зображення предметів на сітківці. Промінь світла проходить через шар гангліозних і біполярних клітин і досягає колбочок і паличок. У

фоторецепторах розрізняють зовнішній сегмент, що містить світлочутливий зоровий пігмент (родопсин в паличках і йодопсин в колбочках), і внутрішній сегмент, в якому знаходяться мітохондрії. Зовнішні сегменти занурені в чорний пігментний шар, що вистилає внутрішню поверхню ока. Він зменшує відбиття світла всередині ока і бере участь в обміні речовин рецепторів.

У сітківці налічують близько 7 млн. колбочок і приблизно 130 млн. паличок. Більш чутливі до світла палички, їх називають апаратом сутінкового зору. Колбочки, чутливість до світла яких в 500 разів менша, являють собою апарат денного і кольорового бачення. Можливість бачити кольори, світ фарб доступна риbam, амфібіям, рептиліям і птахам; інформація про що наведена нижче.

### Кольоровий зір тварин

| Хроматичний зір      | Ахроматичний зір                      |
|----------------------|---------------------------------------|
| кісткові риби        | змії                                  |
| жаби                 | собаки                                |
| черепахи та ящірки   | копитні                               |
| більшість птахів     | кролі і миші                          |
| коти                 | нижчі примати<br>(напівмаври, лемури) |
| Людина, вищі примати |                                       |

Доводиться це можливістю вироблення у тварин умовних рефлексів на різні кольори. Не сприймають кольору собаки і копитні тварини. Всупереч встановленому уявленню, що бики дуже не люблять червоний колір, в дослідах вдалося довести, що вони не можуть відрізнити зеленого, синього і навіть чорного від червоного. Серед ссавців тільки мавпи і люди здатні сприймати кольору.

Колбочки і палички розподілені в сітківці нерівномірно. На дні ока, навпроти зіниці, знаходиться центральна ямка - місце найкращого бачення. Сюди фокусується зображення при розгляданні предмета. У центральній ямці є тільки колбочки. У напрямку до периферії сітківки кількість колбочок зменшується, а число паличок зростає. Периферія сітківки містить тільки палички. Недалеко від плями сітківки, ближче до носа, розташоване сліпа пляма - це місце виходу зорового нерва (рис. 16). У цій ділянці немає фоторецепторів, і воно не приймає участі в здійсненні зору. Людина зазвичай не помічає пробілу в полі зору, але його легко довести за допомогою досліду Маріотта.

**Гострота зору** визначається здатністю ока розрізнити найменшу відстань між двома точками, розрізнити окремі деталі об'єктів і її визначають найменшим кутом зору, при якому дві точки, що світяться, розрізняються окремо.

Око розрізняє дві точки об'єкта, якщо їх зображення падає на два рецептивних поля, розділених принаймні одним незбудженим полем. Максимальну гостроту зору має жовта пляма сітківки. Тут конвергенція

нейронів зведена до мінімуму: кожний колбочковий фоторецептор передає сигнал до одного гангліозного нейрона сітківки, тобто рецептивне поле його утворене одним колбочковим фоторецептором. До периферії сітківки гострота зору зменшується.

Нормальне око здатне розрізнити 2 точки окремо під кутом зору, що дорівнює  $1^{\circ}$ . Це пов'язано з тим, що для роздільного бачення 2 точок необхідно, щоб між збудженими колбочками знаходилась мінімум одна не збуджена колбочка. Внаслідок того, що діаметр колбочок дорівнює 3 мкм, для роздільного бачення двох точок необхідно, щоб відстань між зображенням цих точок на сітківці становила не менше 4 мкм, а така величина зображення отримується якраз при куті бачення рівному  $1^{\circ}$ . При цьому, при розгляданні під кутом зору меншим ніж  $1^{\circ}$  дві світлі точки зливаються в одну.

**Бінокулярний зір** (бачення обома очима) зумовлює сприймання ширини (поле зору) і глибини простору, оцінку відстані до предметів та їх розміри. Зображення кожної крапки предмету попадає на відповідні ділянки 2-х сітківок, і у сприйнятті людини 2 зображення зливаються в одне. Бінокулярний зір – це об'єднання сигналів від 2-х сітківок у єдиний нервовий образ, що відбувається у первинній корі мозку.

**Оцінка відстані до предмета** відбувається при потраплянні зображення точки одного предмету на неідентичні точки сітківки обох очей. Елементи об'єктів, які потрапляють на такі точки й зміщені до скроневої частини сітківки, сприймаються як такі, що розташовані ближче, а ті елементи, які зміщені на сітківці ближче до її носової частини, — як такі, що знаходяться далі. Елементи, що потрапляють на ідентичні точки сітківки обох очей, сприймаються як такі, що розташовані в одній площині.

**Оцінка розмірів предметів** досягається завдяки автоматичному (неусвідомлюваному) аналізу розмірів зображення предмету на сітківці, знанню його реальних розмірів та інформації про відстань щодо цього предмета або інших предметів, що перебувають у полі зору разом з ним (для порівняння).

**Сприймання форми.** Для того щоб виникло зорове сприйняття форми, об'єкт повинен мати певну організацію і структуру. Відсутність розчленування може викликати галюцинації, наприклад міраж, який можна побачити на плоских рівнинах чи в пустелі, де однотонність ландшафту й неба призводить до виникнення галюцинацій.

Сприймання форм і структур є природженою властивістю, хоча важливу роль відіграють також елементи, набуті в процесі навчання. Діти до 6 років не можуть розпізнавати загадкові малюнки чи «приховані» фігури, оскільки у них поки що здатність до сприймання форми є обмеженою, їм потрібно більше часу, щоб розпізнати складні зображення. До 6-річного віку у дітей спостерігається тунельний зір, коли фігури, що потрапляють на периферію поля зору, не сприймаються. Навіть дорослим людям після видалення вродженої катаракти потрібен час, щоб зорові враження почали відповідати

попередньому тактильному досвіду, і повноцінна функція сприймання розвивається лише поступово.

Сприймання **глибини простору** залежить від наявності на сітківці обох очей кореспондуючих (ідентичних) точок, тобто точок, на які падає зображення однієї й тієї самої точки предмета. При цьому зображення від обох очей зливаються (фузія) і виникає відчуття плоскої фігури. Коли зображення однієї точки об'єкта падає на диспаратні (неідентичні) точки обох очей, інформація про зображення, яка передається до кори великого мозку від обох очей, не зовсім однакова, злиття зображень є неповним, і виникає об'ємне, тобто стереоскопічне, бачення. Чим ближче предмет до очей, тим більша відмінність (диспаратність) між зображеннями, і врешті зображення починає двоїтись. У зображенні на сітківці правого ока більш помітний правий бік предмета, а лівого - лівий. Якщо розглядати два ідентичних малюнки, ефект глибини не виникає. Підроблені копії документів або фальшиві гроші, вміщені разом з оригіналом у стереоскоп, створюють об'ємне зображення, що й допомагає виявити подробику, оскільки стають помітними невеличкі розбіжності між двома зображеннями.

**Сприймання руху** ґрунтується на переробці інформації у нейронах зорової зони кори, які є вибірково чутливими до руху. При цьому не тільки аналізується зображення на сітківці, а й враховуються рухи голови, очей і всього тіла. При фотонічному освітленні нижній поріг сприймання руху в ділянці центральної ямки становить  $0,2 - 0,8^{\circ}$  за 1 с. Цей поріг підвищується, якщо рухомий предмет перебуває у порожньому полі. Можна спостерігати рух Сонця, що заходить за обрій, на фоні дерев чи будівель (швидкість становить  $= 0,25^{\circ}$  за 1 с). Проте надійно розрізняти малоконтрастні об'єкти, що рухаються вліво чи вправо, можна лише в діапазоні середніх швидкостей ( $2 - 64^{\circ}$  за 1 с).

**Жодна тварина нерухомих об'єктів не бачить.** Дійсно, жаба чи інші земноводні й риби бачать і реагують лише на ті об'єкти, що рухаються в полі зору. Вищі хребетні для того, щоб бачити більш-менш тривалий час якийсь нерухомий об'єкт, мають постійно рухати очима, переміщуючи при цьому його зображення на інші елементи сітківки. Такі рухи (око людини при розгляданні предмету робить не відчутні безперервні скачки - *саккади* - це зображення з одних фоторецепторів переміщується на інші і виникає імпульсація гангліозних клітин), за допомогою яких зображення утримується протягом тривалого часу в зоні жовтої плями, називають *сакадичними*.

**Сакадичні рухи** - це мимовільні скорочення очних м'язів, які спричиняють швидкі стрибкоподібні рухи очей з однієї точки фіксації зору на іншу. Якщо врахувати, що тривалість одного сакадичного скорочення становить 10-80 мс, то є всі підстави вважати очні м'язи найшвидшими м'язами у всьому тваринному світі. Сакадичні рухи чергуються з періодами фіксації ока тривалістю до 2 с, протягом яких відбувається повільний рух ока (дрейф). Під час дрейфу ока зображення предмета на сітківці також зменшується, але швидко відновлюється за допомогою мікросакадичних рухів.

Під час спостереження за рухомим об'єктом завдання окорухової системи ускладнюється тим, що крім основного завдання (переміщувати зображення щоразу на «свіжі» фоторецептори) потрібно також стежити за рухом об'єкта, для чого весь час утримувати його в межах зони чіткого бачення. Останнє завдання реалізується за допомогою спеціальних центральних нейронів - **детекторів руху**, які інформують окорухові центри про напрям і швидкість руху об'єкта. В результаті очні м'язи здійснюють плавні слідкуючі рухи очей. На ці рухи через інтервали різної тривалості (0,2-2 с) накладаються коригувальні сакадичні рухи, які забезпечують тривале чітке бачення рухомого об'єкта. До слідкуючих рухів очей приєднуються рухи голови. Координація обох рухів здійснюється центрами стовбурової частини мозку.

**Поле зору** - це простір, який око людини бачить при фіксації зору в одній точці. У цьому випадку центр поля зору проектується на жовту пляму, і людина сприймає його центральним зором, а решта сприймається периферією сітківки, переважно паличковими фоторецепторами, і тому бачиться нечітко.

Поля зору обох очей частково перекриваються, що значною мірою залежить від положення очей. У хребетних поле зору кожного ока становить приблизно  $170^\circ$ . Межі поля зору для безкольорових предметів складає знизу  $70^\circ$ , до верху -  $60^\circ$ , всередину -  $60^\circ$ , і назовні -  $90^\circ$ . Поля зору для різних кольорів не однакові і менші, ніж для чорно-білих об'єктів. Проте у різних видів тварин поля зору обох очей перекриваються різною мірою. Так, у хижаків це перекривання є значним попереду, а позаду, у сліпій частині сітківки, перекривання майже немає. У тварин-жертв, навпаки, очі широко розміщені і тому перекривання попереду незначне, а сліпа частина позаду дуже мала, тобто вони мають великі поля зору. Наприклад, у зайця очі розміщені по боках голови і забезпечують йому майже круговий огляд (так само у антилопи). У хамелеона кожне око рухається окремо, що дає можливість бачити навколишній простір з усіх боків. Цікаво, що у птахів перекривання полів зору і відповідно загальне поле зору залежать від способу життя: у денних птахів очі дуже широко розміщені і забезпечують велике поле зору, тоді як у нічних птахів очі, зведені попереду голови, дають значне перекривання полів і різке звуження загального поля зору.

Вважається, що в сітківці ока людини є три види колбочок, максимумами чутливості яких припадають на червоний, зелений і синій ділянки спектра, тобто відповідають трьом «основним кольорам». Вони забезпечують розпізнавання тисяч кольорів і відтінків. Криві спектральної чутливості трьох видів колбочок частково перекриваються, що сприяє явищу метамерії (рис. 1). Дуже сильне світло збуджує всі 3 типи рецепторів і тому сприймається як випромінювання сліпучо-білого кольору.

Рівномірне подразнення всіх трьох елементів, яке відповідає денному світлу, також викликає відчуття білого кольору (табл. 1).

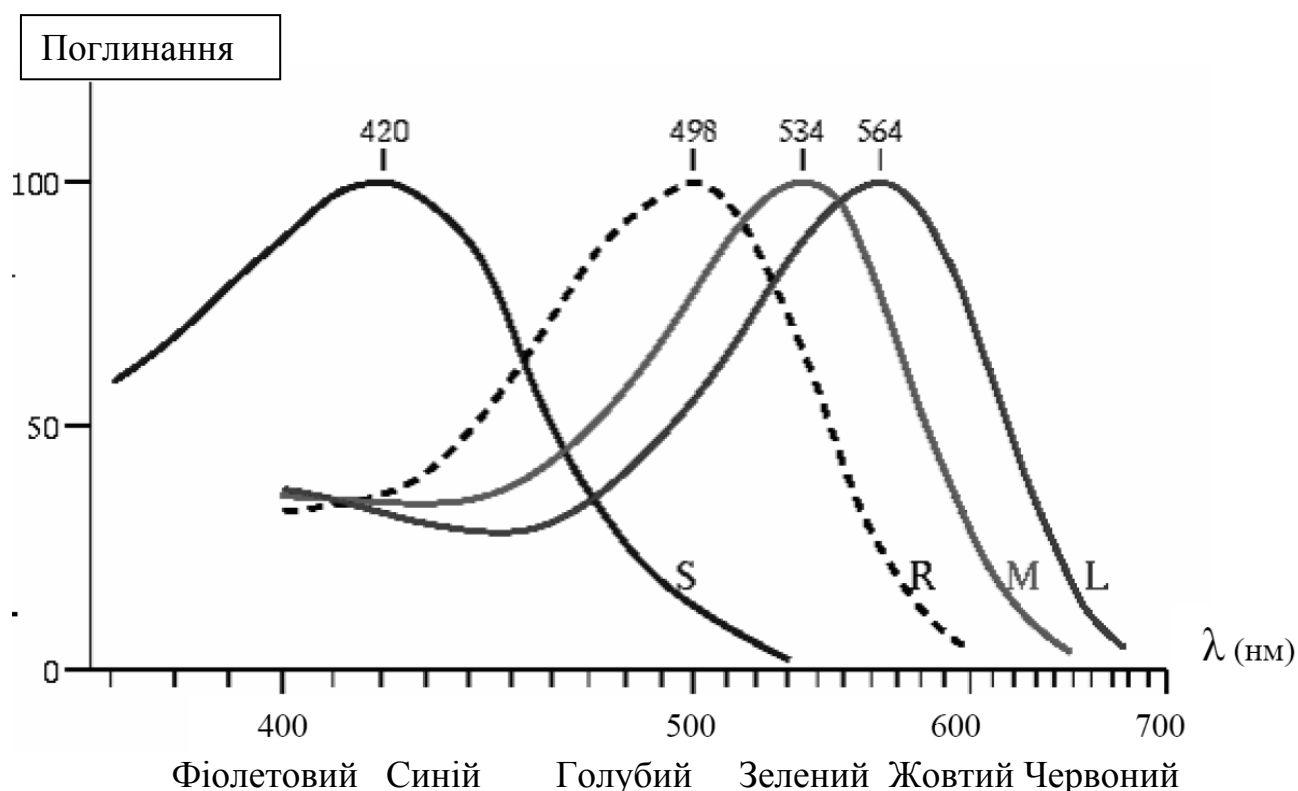


Рис. 1. Залежність сприйняття кольору від довжини хвилі

Величина поля зору у різних людей неоднакова й залежить від глибини розташування й форми очного яблука, надбрівних дуг та носа, а також функціонального стану сітківки ока. Розрізняють кольорове (хроматичне) та безкольорове (ахроматичне) поле зору. Ахроматичне поле зору більше ніж хроматичне, так як воно обумовлене діяльністю паличок, розташованих переважно на периферії сітківки.

Таблиця 1. Залежність типу рецепторів та довжини хвилі, яку вони сприймають

| Тип колбочок | Позначення | Довжина хвиль, яка сприймається | Максимум чутливості |
|--------------|------------|---------------------------------|---------------------|
| S            | $\beta$    | 400–500 нм                      | 420–440 нм          |
| M            | $\gamma$   | 450–630 нм                      | 534–545 нм          |
| L            | $\rho$     | 500–700 нм                      | 564–580 нм          |

Для розрізнення кольорів доле зору також неоднакове: найбільше воно для жовтого кольору, а найвужче для зеленого. Границі ахроматичного поля зору становлять: назвні - приблизно  $100^\circ$ , досередини й вверх -  $60^\circ$  й донизу  $65^\circ$ . Можливість бачити і розрізняти кольори теж залежить від віку людини і у різних видів вона різна:

- народження – ахроматичний зір
- 1 міс. – затримка погляду на блискучих предметах



- 3-5 міс. – розрізнення основних кольорів
- 6 міс. – вибір іграшки за кольором
- 3 роки – здатність називати кольори
- 10-12 років – розпізнавання відтінків
- 30-60 років – повільне зниження відчуття відтінків
- після 60 – регрес функцій зору

**Акомодація.** Око людини володіє не тільки здатністю бачити те, що знаходиться далеко, але й добре бачити довколишні предмети. Для цього заломлююча здатність ока (його рефракція) повинна бути посилена. Здатність ока посилювати свою властивість заломлення для зору поблизу називається акомодацією. Фізіологічний акт акомодації в людському очі відбувається мимоволі і виробляється з перших тижнів життя. Схема акомодації в оці представлена на рис. 2. Під час акомодації скорочується війковий м'яз. Так як він прикріплений до щільної склери спереду, все війкове тіло цілком дещо подається вперед. Тонкі волокна зв'язки, на яких підвішений в оці кришталік до війкового тіла, дещо слабшає і, таким чином, кришталік, звільнений від натягу цинових зв'язок, завдяки своїм еластичним властивостям намагається прийняти більш кулясту форму і цим збільшується заломлююча здатність ока. Чим ближче предмет знаходиться від ока, тим інтенсивніше повинно око акомодувати.

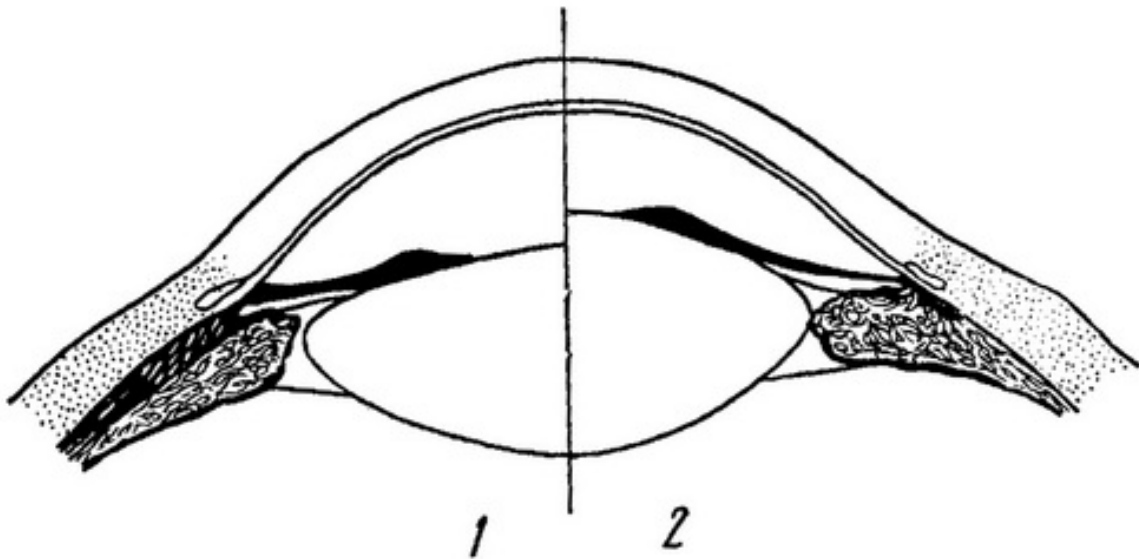


Рис. 2. Схема акомодації:  
1 – кришталік в стані акомодації;  
2 – кришталік в напруженому стаді

З віком еластичність кришталіка зменшується, він твердне і втрачає здатність змінювати свою кривизну при скороченні війкового м'яза. Це заважає чітко бачити на близькій відстані. Далекозорість частіше розвивається після 40 років, і виправляють її за допомогою окулярів (рис. 3).

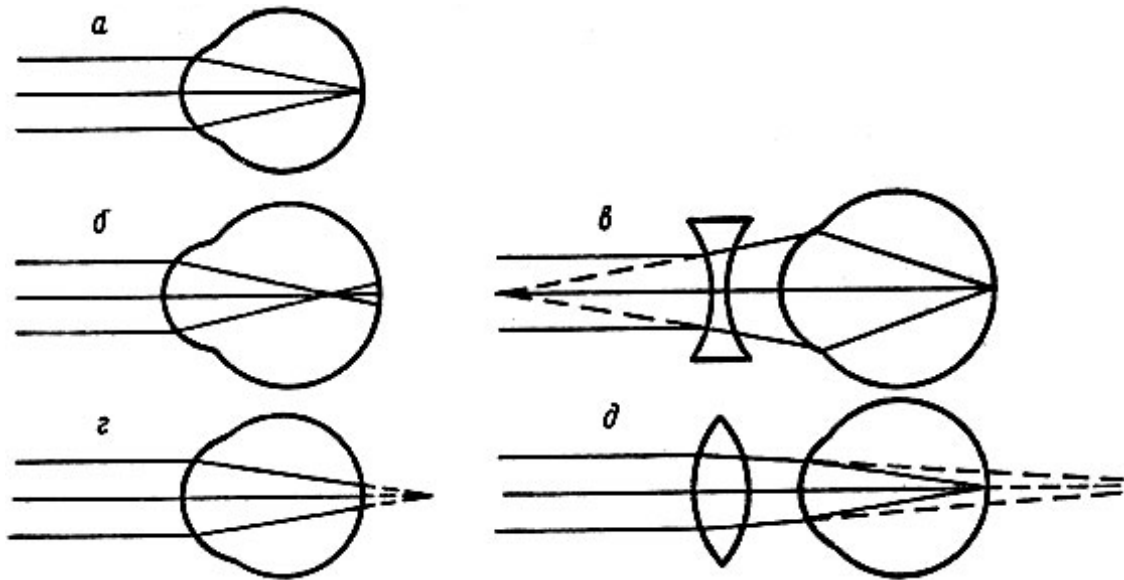


Рис. 3. Приклади порушення зору:

- а) норма;  
 б) хід променів в очному яблуці при короткозорості;  
 в) корекція короткозорості за допомогою лінз;  
 г) хід променів в очному яблуці при далекозорості;  
 д) корекція далекозорості за допомогою лінз

### Визначення гостроти зору (за Сівцевим)

**Мета роботи:** Познайти з принципами методів визначення гостроти зору людини. Навчитися самостійно визначати гостроту свого зору, визначити нижній абсолютний поріг зорового відчуття шляхом вимірювання коефіцієнта гостроти зору.

**Для роботи необхідно:** таблиці для визначення гостроти зору (рис. 4, табл. 2), рулетка на 5 м, указка.

**Хід роботи.** Для визначення гостроти зору використовуються стандартні таблиці з літерами, які розташовані в 12 рядків. Величина літер в кожному рядку зменшується зверху вниз. Збоку кожного рядка знаходиться цифра, яка вказує відстань, з якої нормальне око розрізняє літери даного рядка під кутом зору  $1^\circ$ .

1. Таблицю вішають на добре освітленій стіні (освітленість повинна бути не нижче 100 лк) чи додатково освітлюють електричною лампою.

2. Досліджуваного саджають на стілець на відстані 5 м від таблиці й пропонують закрити око спеціальним щитком.

3. Експериментатор указкою показує досліджуваному літери й просить їх називати. Визначення починають з верхнього рядка й, опускаючись вниз, знаходять найнижчий рядок, всі літери якого досліджуваний чітко бачить й вірно називає на протязі 2-3 секунд.



Рис. 4. Таблиці Головіна-Сівцева для визначення гостроти зору

Таблиця 2. Гострота зору при дослідженні за таблицею Д.А.Сівцева з різних відстаней

| РЯДОК | Відстань від таблиці, м |      |      |      |      |      |      |      |      |     | Відстань, при якій нормальне око бачить даний ряд, м |
|-------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|--|
|       | 0.5                     | 1.0  | 1.5  | 2.0  | 2.5  | 3.0  | 3.5  | 4.0  | 4.5  | 5.0 |  |
| 1     | 0.01                    | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 | 0.1 | 50   |
| 2     | 0.02                    | 0.04 | 0.06 | 0.08 | 0.1  | 0.12 | 0.14 | 0.16 | 0.18 | 0.2 | 25   |
| 3     | 0.03                    | 0.06 | 0.09 | 0.12 | 0.15 | 0.18 | 0.21 | 0.24 | 0.27 | 0.3 | 16   |
| 4     | 0.04                    | 0.08 | 0.12 | 0.16 | 0.2  | 0.24 | 0.28 | 0.32 | 0.36 | 0.4 | 12.5   |
| 5     | 0.05                    | 0.1  | 0.15 | 0.2  | 0.25 | 0.3  | 0.35 | 0.4  | 0.45 | 0.5 | 10   |
| 6     | 0.06                    | 0.12 | 0.18 | 0.24 | 0.3  | 0.36 | 0.42 | 0.48 | 0.54 | 0.6 | 8  |
| 7     | 0.07                    | 0.14 | 0.21 | 0.28 | 0.35 | 0.42 | 0.49 | 0.56 | 0.63 | 0.7 | 7  |
| 8     | 0.08                    | 0.16 | 0.24 | 0.32 | 0.4  | 0.48 | 0.56 | 0.64 | 0.72 | 0.8 | 6  |
| 9     | 0.09                    | 0.18 | 0.27 | 0.36 | 0.45 | 0.54 | 0.63 | 0.72 | 0.81 | 0.9 | 5.5  |
| 10    | 0.1                     | 0.2  | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.6  | 0.7  | 0.8  | 0.9  | 1.0 | 5.0  |
| 11    | 0.15                    | 0.3  | 0.45 | 0.6  | 0.75 | 0.9  | 1.05 | 1.2  | 1.35 | 1.5 | 3.3  |
| 12    | 0.2                     | 0.4  | 0.6  | 0.8  | 1.0  | 1.2  | 1.4  | 1.6  | 1.8  | 2.0 | 2.5  |

4. Розраховують гостроту зору за формулою:  $V = d/D$ ,

де:  $V$  - гострота зору,

$d$  - відстань досліджуваного від таблиці (5 м),

$D$  - відстань, з якої нормальне око повинно чітко бачити цей рядок.

Потім таким же чином визначають гостроту зору другого ока.

5. Отримані результати записують в протокол досліджень і роблять висновок.

**Висновки:** Необхідно порівняти отриманні дані з нормативними показниками гостроти зору. Нормативна гострота зору - 1; знижена - 0,8; підвищена – 1,5-2.

| ПІБ         | Гострота зору   |                | Нормальна гострота зору |                |
|-------------|-----------------|----------------|-------------------------|----------------|
|             | для правого ока | для лівого ока | для правого ока         | для лівого ока |
| 1. Петренко |                 |                | <b>1,0</b>              | <b>1,0</b>     |
| 2.          |                 |                |                         |                |

### ***Контрольні питання***

1. Дайте визначення гостроти зору?
2. Чим характеризується гострота зору? Чому дорівнює величина цього критерію в нормі?
3. За допомогою якої таблиці визначають і за якою формулою розраховують гостроту зору? Поясніть значення елементів формули.
4. Як змінюється гострота зору з віком?
5. Які чинники впливають на гостроту зору?

### **Спостереження сліпої плями**

**Мета роботи:** навчитися визначати сліпу пляму на сітківці ока.

**Для роботи необхідно:** малюнок Маріотта (рис. 5): на чорному листі паперу нанесено два білих зображення - кружок і хрестик).

***Хід роботи.***

1. На відстані 20-25 см від ока розміщують малюнок Маріотта.
2. Праве око закривають, лівим - фіксують праве зображення.
3. Віддаляючи та наближаючи малюнок, відмічають, що на певній відстані від ока ліве зображення **зникає**.
4. Експеримент повторюють, закриваючи ліве око і розглядаючи правим оком ліве зображення. В цьому випадку **зникає** праве зображення.
5. Оформлюють протокол дослідження.

Протокол досліджень - відстань (см) появи сліпої плями

| ПІБ         | Результати дослідження |                |
|-------------|------------------------|----------------|
|             | для правого ока        | для лівого ока |
| Петренко І. |                        |                |
| 2.          |                        |                |

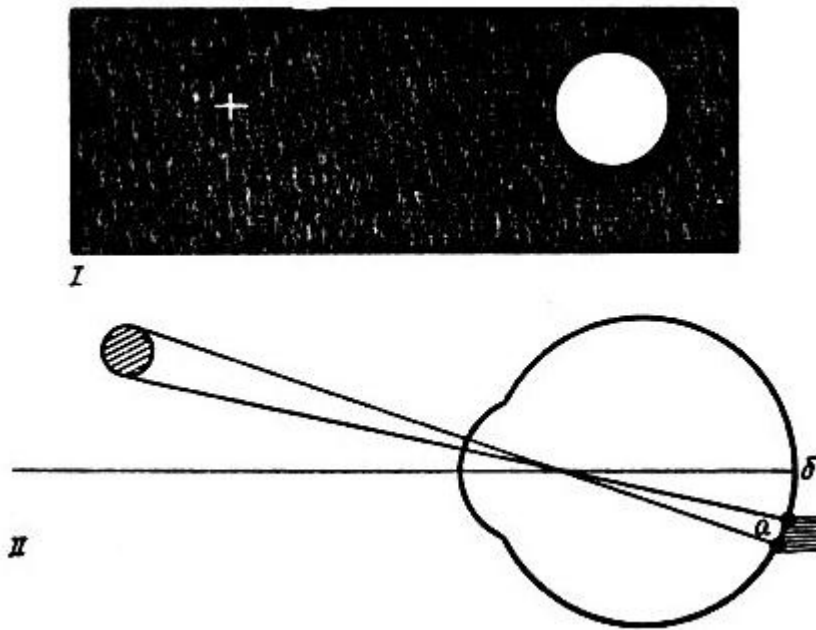


Рис. 5. Рисунок для проведення тесту Маріотта та схема променів при цьому.  
 а – місце виходу зорового нерва;  
 б – центральна ямка, місце найкращого бачення

**Висновки:** необхідно пояснити зникнення і появу зображення на малюнку при його переміщенні відносно ока.

### Контрольні питання

1. Дайте пояснення терміну акомодация.
2. Які фізіологічні причини виникнення короткозорості та далекозорості і як їх можна виправити?
3. Як можна пояснити ефект зникнення зображення при проведенні тесту Маріотта?
4. Дайте визначення терміну «поле зору» і поясніть його фізіологічне значення?
5. Поясніть механізм визначення кольору.
6. Що таке сакадичні рухи і яке їх фізіологічне значення?

## Лабораторна робота № 2

### Визначення ахроматичного та кольорового поля зору

**Мета роботи:** визначити поле зору правого і лівого ока для білого, синього, червоного і зеленого кольору. Визначити поля зору обох очей.

**Для роботи необхідно:** периметр Форстера (рис. 6), марки різних кольорів, циркуль, лінійка, кольорові олівці.

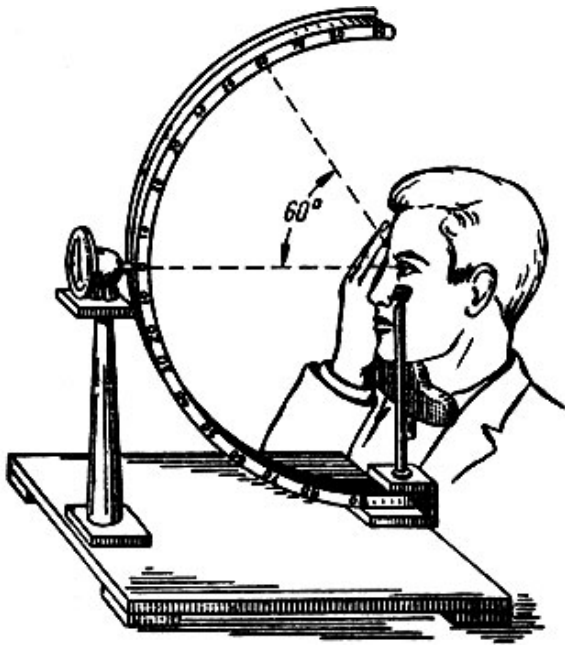


Рис. 6. Периметр Форстера

***Хід роботи.***

1. Периметр ставлять навпроти світла.
2. Досліджуваного саджають спиною до світла й просять його поставити підборіддя у виїмку штатива периметра. Якщо визначається поле зору для лівого ока, то підборіддя ставиться на праву частину підставки. Висота підставки регулюється так, щоб верхній кінець штатива припадав до нижнього краю очної ямки.
3. Досліджуваний фіксує одним оком білий кружок в центрі дуги периметра, а друге око закриває рукою.
4. Встановлюють дугу периметра в горизонтальне положення.
5. Повільно переміщують білу марку по внутрішній поверхні дуги периметра від  $90^\circ$  до  $0^\circ$  і просять досліджуваного вказати той момент, коли розпізнавальна марка вперше стане помітна зафіксованому оку.
6. Відмічають відповідний кут і перевіряють вдруге сукупність точок простору, які одночасно бачить нерухоме око. Границі поля зору будуть визначені тим точніше, чим більше меридіанів буде досліджено. Для опанування методикою можна обмежитися визначенням лише двох основних меридіанів: горизонтального (назовні, досередини) й вертикального (доверху, донизу).
7. Замінивши білу марку кольоровою, тим же способом визначають границі кольорового зору, при цьому від досліджуваного вимагається не тільки побачити марку, але й точно визначити її колір. Визначають поле зору для зеленого кольору чи для декількох кольорів.
8. Результати дослідження заносять в табл. 3 і зображують межі поля зору для кожного кольору у круговій системі координат (рис. 7-1 – 7-5).

Таблиця 3. Межі полів зору

| Направленість | Величина поля зору, ° |           |         |          |         |
|---------------|-----------------------|-----------|---------|----------|---------|
|               | білого                | червоного | синього | зеленого | жовтого |
| Доверху       |                       |           |         |          |         |
| Донизу        |                       |           |         |          |         |
| Назовні       |                       |           |         |          |         |
| Досередини    |                       |           |         |          |         |

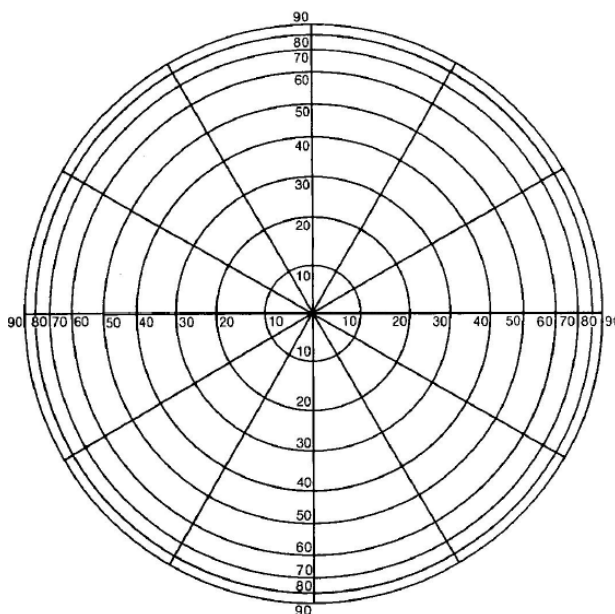


Рис. 7-1. Кругова система координат

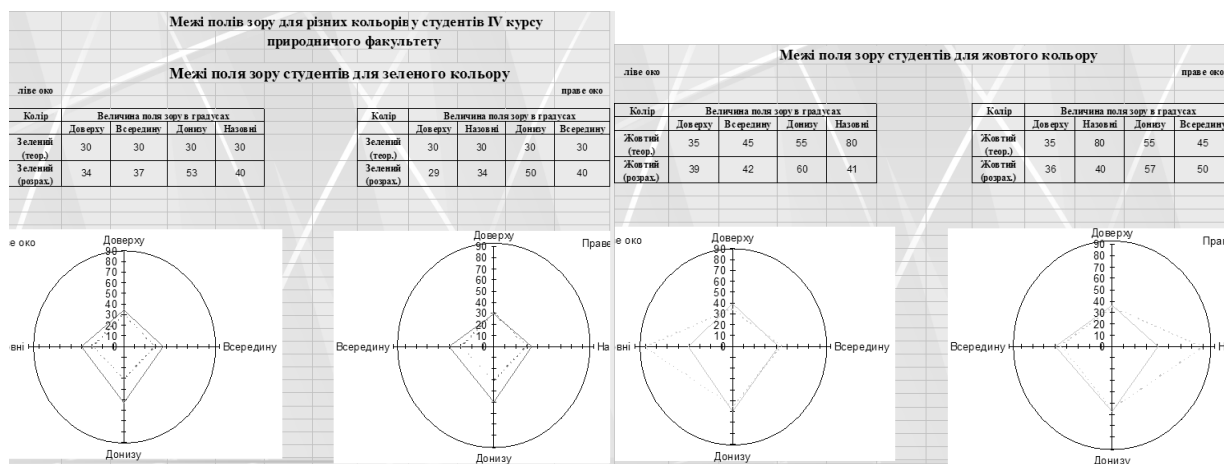


Рис. 7-2. Межі поля зору для зеленого кольору

Рис. 7-3. Межі поля зору для жовтого кольору

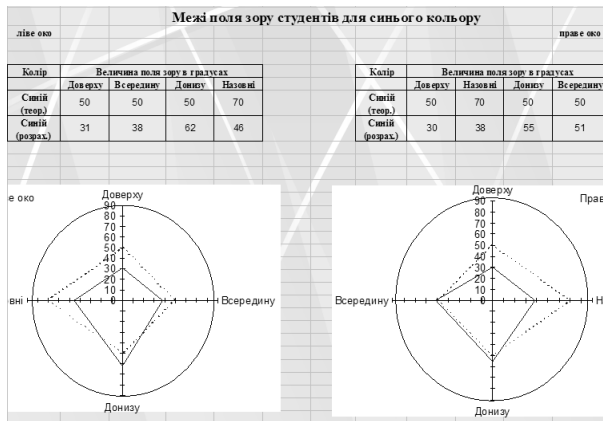


Рис. 7-4. Межі поля зору для синього кольору

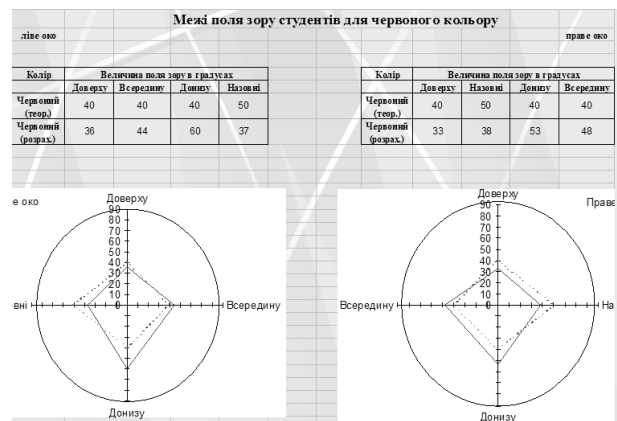


Рис. 7-5. Межі поля зору для червоного кольору

За отриманими результатами викресліть периметричний знімок для кольорів, порівняйте величину ахроматинового та хроматинового полів зору, та поясніть причину різниці між ними.

9. Робимо висновки. Зовнішня межа поля зору для синього кольору відповідає  $70^\circ$ , на червоного -  $50^\circ$  і для зеленого -  $40^\circ$ ; нижня, внутрішня, а також верхня межі для синього кольору дорівнюють  $50^\circ$ , для червоного -  $40^\circ$ , для зеленого -  $30^\circ$  (рис. 8).

### Контрольні питання

1. Поясніть принцип роботи сенсорів ока.
2. Який діапазон за довжиною хвиль сприймає око?
3. За допомогою якого приладу здійснюють вимірювання поля зору?
4. Що таке поле зору і що воно характеризує?
5. Скільки типів рецепторів присутній в людському оку?
6. Як розподілені колбочки на сітківці ока?
7. Як змінюється розмір поля зору для різних кольорів?
8. Дайте визначення терміну «сліпа пляма».
9. Які офтальмологічні хвороби можна виявити, вимірюючи поле зору людини?
10. Які механізми темної і світлової адаптації Ви можете навести?
11. Бінокулярний зір. Які механізми злиття зображень, що виникають на двох сітківка Ви знаєте?
12. Які фотохімічні процеси відбуваються в фоторецепторах при попаданні на них кванта світла?
13. Які молекулярні механізми трансдукції, що відбуваються в фоторецепторах Вам відомі?
14. Наведіть теорії сприйняття кольору.
15. Які аномалії рефракції Ви знаєте? Намалюйте схеми фокусування променів світла від близьких і віддалених предметів.



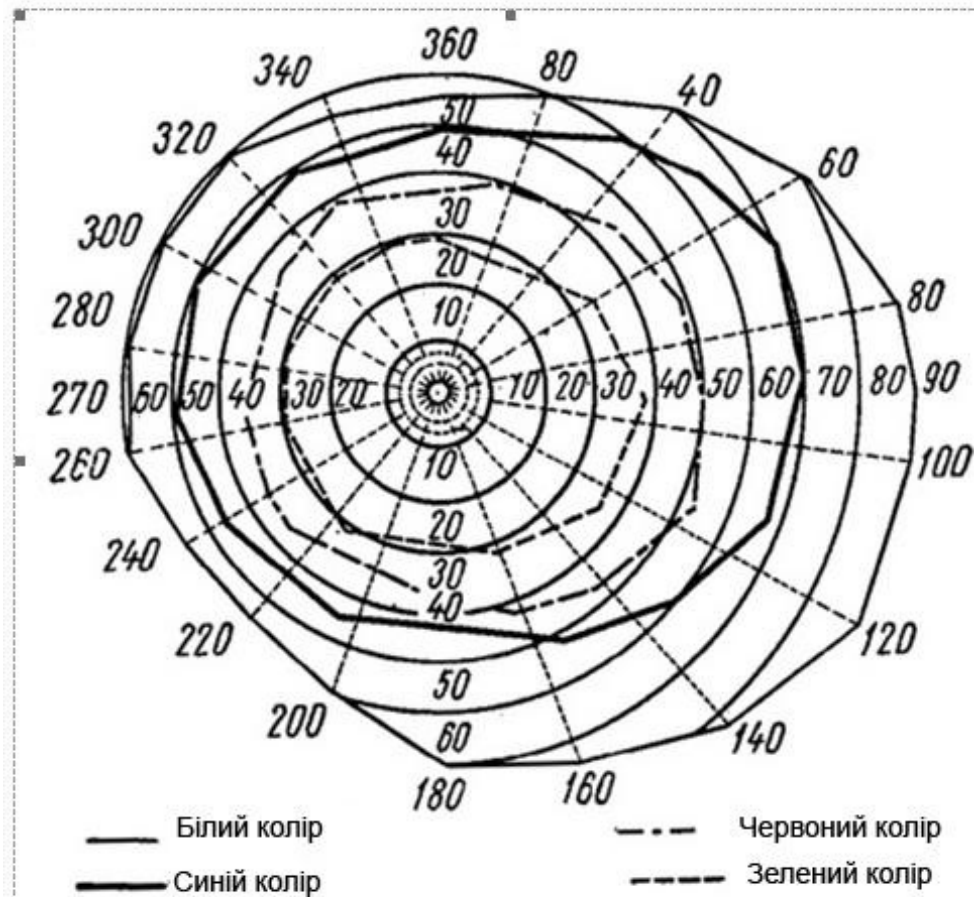


Рис. 8. Межі поля зору для різних кольорів

### Лабораторна робота № 3

#### **Бінокулярний зір і методи його дослідження**

##### **Теоретичне обґрунтування.**

У звичайних умовах людина з нормальним зором користується одночасно обома очима, як одним бінокулярним апаратом. Тому вивчення зорової функції дає достатнє уявлення про стан зору тільки тоді, коли дослідження функціональної здатності проводиться при вивченні функції обох очей одночасно.

Дивлячись двома очима на предмет, людина на сітчастій оболонці кожного ока отримує окремі зображення цього предмета. Психічно ці зображення зливаються в один зоровий образ, який і сприймається свідомістю. Але для того щоб відбулося злиття, необхідно, щоб отримані на сітківці зображення відповідали один одному по величині і формі і падали на строго ідентичні ділянки сітківки. Ці точки або ділянки сітківки називаються кореспондуючими. Кожна точка поверхні однієї сітківки має в іншій сітківці

свою кореспондуючу точку. Кореспондуючі точки сітківки - це, перш за все центральні ямки, потім точки, розташовані в обох очах в однакових меридіанах і на однаковій відстані від центральних ямок. Злиття зображення відбувається лише в тому випадку, якщо вони знаходяться в цих кореспондуючих точках сітківки. Бінокулярний зір дає можливість стереоскопічного зору, можливість бачити навколишній світ у трьох вимірах, визначати відстань між предметами, сприймати глибину навколишнього світу.

Бінокулярний зір розвивається, вдосконалюється і змінюється протягом усього життя. Розвиток бінокулярного зору починається з рефлексу бінокулярної фіксації, який виникає приблизно на 3-му місяці життя, а формування його закінчується до 12 років. Існує багато способів перевірки бінокулярного зору.

**Мета роботи:** перевірити бінокулярний зір досліджуваного.

**Для роботи необхідно:** лист щільного паперу.

**Хід роботи.**

Найпростішим способом є проба з появою двоїння в результаті зсуву ока пальцем. На око не сильно натискають пальцем через повіку. Досвід Соколова проводиться наступним чином. До ока досліджуваного приставлена трубка (згорнута з щільного паперу), через яку він дивиться вдалину. З боку розкритого ока до кінця трубки досліджуваний приставляє свою долоню. У разі нормального бінокулярного зору випробуваний побачить в центрі долоні отвір, через який видно те, що бачить око, котре дивиться через трубку.

## РОЗДІЛ 2

### ФІЗІОЛОГІЯ СЛУХОВОГО АНАЛІЗАТОРА

#### Лабораторна робота № 4

##### **Визначення диференціальної чутливості слухового аналізатора**

##### **Теоретичне обґрунтування.**

Слуховий аналізатор - це другий за значенням аналізатор в забезпеченні адаптивних реакцій людини. Основна його функція - уловлювання та переробка звукової інформації різного характеру (шуми, мова людини та ін.). Звук поширюється у вигляді звукових хвиль (коливання повітря).

З фізичної точки зору звуку характеризуються такими параметрами, як довжина хвилі, частота (висота) і амплітуда (сила або гучність). Основною характеристикою звуку є довжина звукової хвилі, якій відповідає певна кількість коливань в секунду. Довжину звукової хвилі визначають відстанню, яку проходить звук за секунду, поділену на число повних коливань за цей же час. Чим більше число коливань, тим коротше довжина хвилі. У високих

звуків хвиля коротка і вимірюється в міліметрах, у низьких - довга і вимірюється метрами.

Висота звуку визначається його частотою, або числом хвиль за 1 секунду. Частота вимірюється в герцах (Гц). 1 Гц відповідає одному повному коливанню в секунду. Чим більше частота звуку, тим звук вищий і навпаки.

Діапазон звукових частот, який здатне сприймати вухо людини, досить широкий - від 16 до 20000 Гц. Найбільша чутливість слухового аналізатора (абсолютний і диференційний порогови) спостерігається в області середніх частот (від 1000 до 4000 Гц). У промові використовуються звуки в межах від 150 (шепіт) до 2500 (гучний голос) Гц. Сила звуку (гучність) пропорційна амплітуді коливань звукової хвилі і вимірюється в децибелах (логарифм відношення потужності звуку до порогової, прийнятої за одиницю).

Силу звуку можна виразити в абсолютних одиницях: а) як кількість енергії, що проходить за 1 сек через площу  $1 \text{ см}^2$  (ерг, мікровата) або б) як величину тиску, виробленого силою - 1 дин на  $1 \text{ см}^2$  поверхні (бари).

Людське вухо сприймає звуки різної сили, від 1 до 140 дБ. Відносна сила всіх чутних звуків не перевищує 140 дБ: цокання годинника - 20 дБ; тиха розмова - 40 дБ; в установах - 57 дБ; на виробничих підприємствах - 77 дБ; літак (5,4 м) - 115 дБ.

На підставі шкали дБ розроблені рекомендовані рівні інтенсивності звуку в різних громадських місцях. У дитини чітка реакція на звук з'являється в 7-8 тижнів після народження, а з 6 місяців немовля здатне до відносно тонкого аналізу звуків. Остаточне морфофункціональне формування органів слуху у дітей закінчується до 12 років. До цього віку значно підвищується гострота слуху.

З віком падає верхня частотна межа слуху. У дітей вона іноді досягає 30000 Гц, а в 35 років становить лише 15 000 Гц.

Аудиометрія - це метод визначення абсолютного порогу чутливості слухового аналізатора людини до звуків різної частоти. Абсолютним порогом чутливості слухового аналізатора є та мінімальна сила звуку, здатна викликати слухове відчуття або яку-небудь відповідну реакцію

Вухо людини пристосоване до сприйняття звукових коливань в межах 16-20 000 Гц. З віком, однак, верхня межа змінюється: у 12 дітей вона доходить до 22 тис., а у людей похилого віку - до 15 тис. Після 40 років кожні 6 міс. верхня межа звужується на 80 Гц.

**1. Будова периферичної частини слухового аналізатора.** Слуховий аналізатор поділяється на три відділи: зовнішнє, середнє і внутрішнє вухо. **Зовнішнє вухо** складається з вушної раковини і зовнішнього слухового проходу. **Середнє вухо** представлене повітряною (барабанною) порожниною, що знаходиться між барабанною перетинкою і внутрішнім вухом. Барабанна перетинка з'єднується із стінкою внутрішнього вуха трьома кісточками: молоточком, коваделком і стремінцем. **Внутрішнє вухо** міститься у завитці, розташованій в піраміді скроневої кістки (2,5 оберти). По всій довжині завитки кістковий канал розділений двома перетинками: більш тонкою вестибулярною мембраною (Рейснера) і більш товстою і пружною -

основною мембраною. Ці мембрани поділяють канал завитки на три вузьких отвори: верхній, середній і нижній канали. Верхній і нижній канали у верхівці завитки з'єднуються через отвір – гелікотрему. В основі завитки верхній канал починається овальним вікном, а нижній тут же закінчується круглим вікном. Обидва канали заповнені рідиною – перилімфою. Середній канал відокремлений від верхнього і нижнього і заповнений ендолімфою. В середині цього каналу на основній мембрані розташований звукосприймальний апарат – спіральний (кортіїв) орган, утворений волосковими рецепторними клітинами. Над волосковими клітинами розташована мембрана. Вона має стрічкоподібну форму і желеподібну консистенцію. Волоскові клітини за допомогою синаптичних контактів з'єднуються з нейронами, аксони яких у складі присінково-завиткового нерва направляються до стовбура мозку і проміжного мозку, де відбувається переключення на наступні нейрони, відростки яких ідуть у скроневу зону півкулі мозку.

**2. Механізм сприйняття і передачі збудження.** Звукові хвилі, потрапляючи у зовнішній слуховий хід, підсилюються в 2–2,5 рази і викликають коливання барабанної перетинки з частотою звукових хвиль. Коливання барабанної перетинки через слухові кісточки передаються на мембрану овального вікна. Коливання мембрани овального вікна викликають відповідні коливання стовпця рідини перелімфи верхнього каналу і вібрацію основної мембрани і коливання перилімфи у нижньому каналі. При деформації основної мембрани коливаються розташовані на ній волоскові сенсорні клітини. При цьому вони торкаються покривної мембрани, що призводить до зміни їх мембранного потенціалу і появи електричного ефекту, який проявляється в електричних коливаннях, що відповідають за частотою звуковим коливанням. Це явище називають ще мікрофонним ефектом. Але воно не відіграє істотної ролі в сприйнятті звуків різної частоти. Основну роль у механізмі розрізнення звуків різної частоти відіграють фізичні закони розповсюдження звукових коливань у рідині і акустичні властивості основної мембрани. Основна мембрана ширша і товща на верхівці, ніж біля основи. При низьких частотах вібрає вся мембрана з найбільшою амплітудою на верхівці. Інерція стовпця рідини не дає можливості високочастотним хвилям проникати в глиб завитки. Тому звуки високої частоти проникають на малу глибину, викликаючи резонанс коливання перелімфи і збудження волоскових клітин біля основи мембрани. Середньочастотні звуки сприймаються рецепторними клітинами, розташованими посередині мембрани.

**3. Адаптація присінково-завиткового органа.** Тривалий вплив звуків на преддверно-завитковий орган призводить до поступового зниження його збудливості. Звуки інтенсивністю вище 100 дБ викликають пошкодження, а тривалі звуки меншої інтенсивності (40–50), негативно впливають на функціональний стан присінково-завиткового органа.

**4. Вікові особливості присінково-завиткового органа.** Формування рецепторного апарату закінчується ще до народження. Якісний розвиток і

дозрівання кіркових нейронів закінчується до 2–5 років. Функціональні зміни спостерігаються протягом всього життя. Гострота слуху збільшується до 14–19 років, а потім починає зменшуватись. Чутливість слуху до 40 років найбільша при частоті 3 кГц, в 40 – 49 років – 2 кГц, а після 50 років – 1 кГц.

**Мета роботи:** визначити диференціальну чутливість слухового аналізатора студентів.

**Для роботи необхідно:** генератор звукових частот (рис. 9), вимірювач послідовних реакцій, гучномовець.



Рис. 9. Обладнання для визначення диференціальної чутливості слухового аналізатора

***Хід роботи.***

1. Випробуваному пред'являють звуковий сигнал (1000 Гц).
2. Через 5-10 сек. експериментатор збільшує гучність тону до тих пір, поки у випробуваного сформується відчуття збільшення гучності про що він повинен якомога швидше інформувати експериментатора. Експериментатор фіксує величину прибавки гучності тону, що є диференційованим порогом чутливості.
3. Результати вимірювання заносять в протокол дослідження.
4. Через 1 хв. дослід повторюють, щоб число вимірювань дорівнювало 10.
5. Обчислюють середнє арифметичне отриманих даних.

Протокол досліджень. Диференціальні пороги слухової чутливості

| ПІБ            | Число вимірювань |     |     |   |   |     |     |     |     |     | Середнє |
|----------------|------------------|-----|-----|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|---------|
|                | 1                | 2   | 3   | 4 | 5 | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  |         |
| 1. Петренко І. | 2                | 2,3 | 3,1 | 5 | 3 | 2,2 | 2,4 | 2,8 | 3,1 | 3,2 |         |
| 2.             |                  |     |     |   |   |     |     |     |     |     |         |

**Висновок:** диференціальний поріг чутливості в середньому складає 2 дБ.

***Контрольні питання***

1. Що називають абсолютним порогом слухової чутливості?
2. Як залежить від віку поріг слухової чутливості?
3. Якими фізичними параметрами характеризується звук?
4. У яких абсолютних і відносних величинах вимірюється сила звуку і як вони між собою співвідносяться?
5. Який діапазон звукових частот сприймає вухо людини?
6. До яких звукових частот вухо людини має найбільшу чутливість, яке це має значення?
7. На чому заснована здатність людини визначати положення джерела звуку в просторі? Поясніть механізм.
8. Що таке різницевий поріг? При яких умовах диференційний поріг має найбільшу і найменшу величину?

## РОЗДІЛ 3

### ФІЗІОЛОГІЯ ВЕСТИБУЛЯРНОГО АНАЛІЗАТОРА

#### Лабораторна робота № 5

#### Визначення диференційованої чутливості вестибулярного аналізатора

##### Теоретичне обґрунтування.

**1. Будова вестибулярного апарату.** Вестибулярна сенсорна система служить для аналізу стану і руху тіла в просторі. Ця інформація необхідна для керування положенням голови і тулуба. До складу внутрішнього вуха, крім завитки входять присінок, півколові канали, маточка і мішечок, які є вестибулярним апаратом і виконують функцію органа рівноваги. У порожнинах маточки і мішечка містяться волоскові клітини. До них підходять закінчення чутливих волокон присінково-завиткового нерва (VIII).

Рецептори вестибулярного апарату передають збудження нервових волокон біполярних клітин вестибулярного вузла, розташованого в скроневій кістці. Інші відростки цих перших нейронів утворюють вестибулярний нерв і разом зі слуховим нервом в складі VIII пари черепно-мозкових нервів входять в довгастий мозок. У вестибулярних ядрах довгастого мозку знаходяться другі нейрони. Звідти імпульси надходять до третіх нейронів в таламусі (проміжний мозок) і далі в скроневу область кори великих півкуль.

Канали і порожнина в скроневій кістці утворюють кістковий лабіринт вестибулярного апарату, який частково заповнений перетинчастим лабіринтом. Між кістковим і перетинчастим лабіринтом знаходиться рідина - перилімфа, а всередині перетинчастого лабіринту - ендолімфа.

Апарат передодня призначений для сприйняття положення тіла і прискорень прямолінійного руху. Перетинчастий лабіринт передодня розділений на 2 порожнини - мішечок (саккулус) і маточку (утрікуле), в яких розташовані отолітовий апарат. Механорецептори отолітового апарату є волоскові клітини. Волоски їх склеєні желеподібною масою, що утворює отолітову мембрану, в якій знаходяться кристали вуглекислого кальцію - отоліти. У маточці отолітова мембрана розташована в горизонтальній площині, а в мішечку вона зігнута і знаходиться у фронтальній і сагітальній площинах. При зміні положення голови і тіла, а також при вертикальних або горизонтальних прискореннях отолітової мембрани вільно переміщуються під дією тяжкості у всіх 3 площинах, натягуючи, стискаючи або згинаючи при цьому волоски механорецепторів. Чим більше деформація волосків, тим вище частота аферентних імпульсів в волокнах вестибулярного нерва.

Апарат півколових каналів служить для аналізу обертальних рухів. Адекватним його подразником є кутове прискорення. Три дуги півколових каналів розташовані в 3 взаємно перпендикулярних площинах: передня - у фронтальній площині, бічна - в горизонтальній і задня - в сагітальній. В одній з кінців кожного каналу є розширення - ампула. Волоски чутливих клітин склеєні в гребінець - ампулярну купулу. Вона являє собою маятник, який може відхилятися в результаті різниці тиску ендолімфи на протилежні поверхні купули. При обертальних рухах проявляється інерція рідкого вмісту перетинкового напівкružнього каналу - ендолімфи, яка відстає від руху кісткової частини. Відхиляючись в протилежному напрямку, вона тисне на одну з поверхонь купули. Відхилення купули згинає волоски рецепторних клітин і викликає появу нервових імпульсів в вестибулярному нерві. Найбільші зміни в положенні купули відбуваються в тому півколовому каналі, положення якого відповідає площині обертання.

Імпульси вестибулярного апарату, необхідні для аналізу положення або руху тіла, використовуються в організмі для підтримки рівноваги, для регуляції і збереження пози.

**2. Вестибулярні рефлексії.** При збільшенні тиску отолітової мембрани маточки на чутливі клітини рефлекторно підвищується тонус згиначів кінцівок, тулуба і шиї і знижується тонус їх розгиначів. Це спостерігається, наприклад при швидкому підйомі і спуску у вигляді так званих ліфтних рефлексів. Зі збільшенням тиску на рецептори мішечка на тій же стороні тіла рефлекторно підвищується тонус м'язів, що відводять кінцівки і бічних м'язів шиї і тулуба, при зменшенні тиску - тонус їх знижується. Ці рефлексії відіграють важливу роль у збереженні рівноваги тіла при переміщеннях у фронтальній площині. Кутові прискорення викликають ністагм, тобто вимушені ритмічні рухи очних яблук (ністагм очей) і голови (ністагм голови). Крім ністагму під час і після обертання спостерігається зміна тону

м'язів. Внаслідок цього після обертання людина не завжди може йти прямолінійно і відхиляється в ту сторону, на яку зменшувався тонус м'язів.

Збудження рецепторів ампули шляхом зміни кутових прискорень викликає вимушені ритмічні рухи очних яблук (ністагм очей) і голови. При цьому розрізняють два типи рухів, повільний – у бік, протилежний напрямку обертання, і швидкий – за напрямком обертання. Ця реакція є формою пристосування до орієнтації в просторі під час швидких рухів за допомогою зорового аналізатора. При сильних подразненнях вестибулярного апарату виникають рефлекторні реакції, які погіршують стан організму - закачування, або так звана «морська хвороба». Вона викликає м'язову слабкість, запаморочення, збліднення, нудоту, блювоту. Вестибулярний апарат має велике значення при виконанні фізичних вправ. Тому зниження порогу його чутливості є однією з задач тренування. Цьому сприяють фізичні вправи пов'язані з різними обертаннями, швидкими поворотами та іншими спеціальними вправами.

Збільшення тиску на рецептори мішечка (при зміщеннях голови і тулуба в горизонтальній площині) рефлекторно підвищує тонус відповідних м'язів кінцівок, бокових м'язів тулуба, ший тієї сторони, на якій відбулося збільшення тиску. При зниженні тиску тонус м'язів знижується. За допомогою цих рефлексів зберігається рівновага тіла під час ходіння і бігу.

**3. Вікові особливості вестибулярного апарату.** Вестибулярний апарат формується і дозріває раніше за інші сенсорні системи. Морфологічний розвиток усіх ланок апарату забезпечує прояв рефлекторних реакцій уже на четвертому місяці внутрішньоутробного розвитку.

В цей час вестибулярний апарат має велике значення для розвитку нервової системи. Після народження вестибулярний апарат дитини має такі самі функціональні характеристики, як і в дорослих.

**Мета роботи:** перевірити роботу вестибулярного апарату.

**Для роботи необхідно:** вестибулометричний пристрій, антифони

**Хід роботи.**

1. Досліджуваній сідає в крісло вестибулометричного пристрою, йому зав'язують очі і одягають антифони.

2. Включають пристрій, крісло якого обертається за заданою програмою:

- з прискоренням  $3,5^0/c^2$  до кутової швидкості  $80^0/сек$ ;
- рівномірні обертання протягом 5-15 сек;
- зі збільшенням через кожну секунду прискорення на  $0,5^0/c^2$ .

3. Коли у досліджуваного сформується відчуття про збільшення швидкості обертання, він повинен якомога швидше інформувати експериментатора. Експериментатор фіксує останнім прискорення як поріг відчуття.

4. Після цього провести зменшення швидкості обертання до повної зупинки. Через 1 хвилину вимірювання повторюють, щоб їх загальна кількість дорівнювала 10, потім обчислюють середнє арифметичне значення і отриманні дані заносять в протокол досліджень.



Протокол досліджень. Визначення диференційованої чутливості  
вестибулярного аналізатора

| ПІБ            | Число вимірювань |   |   |   |   |   |   |   |   |    | Середнє |
|----------------|------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---------|
|                | 1                | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |         |
| 1. Петренко І. |                  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |         |
| 2.             |                  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |         |

***Контрольні питання***

1. Волоскові клітини якої частини вестибулярного апарату реагують на кутове прискорення?
2. Назвіть закономірності функціонування пар півколових каналів вестибулярного апарату.
3. Наведіть приклади центральних структур переробки інформації нюхового сигналу.
4. Які органи дають інформацію про положення тіла в просторі (при русі)?
5. Що є адекватним стимулом для волоскових клітин маточки і мішечка?

## РОЗДІЛ 4

### ФІЗІОЛОГІЯ РУХОВОГО АНАЛІЗАТОРА

#### Лабораторна робота № 6

#### Визначення диференціальної чутливості кінестетичного (рухового) аналізатора

**Теоретичне обґрунтування.**

Рухова сенсорна система служить для аналізу стану рухового апарату - його руху і положення. Інформація про ступінь скорочення скелетних м'язів, натяг сухожиль, зміну суглобових кутів необхідна для регуляції рухових актів і поз.

Периферичний відділ рухової сенсорної системи представлений пропріорецепторами, розташованими в м'язах, сухожилках і суглобових сумках. Імпульси від них надходять по чутливих пропріоцептивних волокнах до аферентних нейронів в спинномозкові вузли. Далі імпульсний потік йде до других нейронів в довгастий мозок, потім перемикається на треті нейрони в релейних ядрах таламуса (проміжний мозок). Інформація від таламуса надходить в задню центральну звивину кори великих півкуль і частково до кіркових нейронів в передню центральну звивину. Частина шляхів від пропріорецепторів направляється в кору мозочка.

До пропріорецепторів відносяться м'язові веретена, сухожильні органи (або органи Гольджі) і суглобові рецептори (рецептори суглобової капсули і суглобових зв'язок). Всі ці рецептори є механорецепторами, специфічним подразником для яких є їх розтягнення (рис. 10).

М'язові рецептори є механорецепторами. Їх адекватним подразником є розтягнення м'язового веретена. Розтягнення веретена відбувається при збільшенні довжини м'яза. Деформація веретена та нервових закінчень супроводжується виникненням рецепторного потенціалу (РП), що призводить до генерації потенціалу дії (ПД) наприкінці аферентного нейрона.

М'язові веретена розташовані паралельно м'язовим волокнам. Кожне веретено покрито сполучною капсулою, утвореною декількома шарами клітин, яка в центральній частині розширюється і утворює ядерну сумку. Усередині веретена міститься кілька (від 2 до 14) тонких внутриверетенних або так званих інтрафузальних м'язових волокон. Ці волокна в 2-3 рази тонші від волокон скелетних м'язів (екстрафузальних).

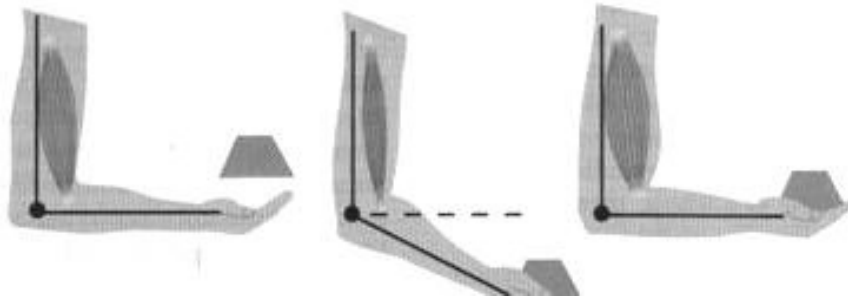


Рис. 10. Відповідна реакція дії навантаження на пропріорецептори

Розтягування м'язових рецепторів деформує закінчення аферентних волокон, які намотані на інтрафузальні волокна, і в них з'являються нервові імпульси. Подразнення м'язового веретена відбувається при розтягуванні м'яза, коли розтягуються і пропріорецептори. Частота пропріорецептивної імпульсації зростає зі збільшенням розтягування м'яза, а також при збільшенні швидкості розтягування. Отже, м'язові веретена інформують нервові центри про довжину м'яза і швидкість його зміни. Внаслідок малої адаптації імпульсація від м'язового веретена триває протягом усього періоду підтримки розтягнутого стану, що забезпечує постійну поінформованість центрів про довжину м'яза.

Розряди гамма-мотонейронів викликають скорочення інтрафузальних м'язових волокон по обидві сторони від ядерної сумки веретена, в результаті чого нескоротна центральна частина веретена розтягується і деформація нервового волокна, який відходить звідси, викликає підвищення його збудливості. При тій же довжині м'яза в нервові центри при цьому буде надходити більше число аферентних імпульсів. Гамма-регуляція є основним способом налаштування чутливих м'язових веретен. З огляду на низьку збудливість гамма-мотонейронів їх активність слабо виражена в стані спокою і активується при довільних рухах і вестибулярних реакціях.

Сухожильні органи розташовані в місцях переходу м'язових волокон в сухожилля. Сухожильні рецептори розміщуються на тонких сухожильних волокнах, оточених капсулою. Ці волокна обплетені закінченнями аферентного нерва. На відміну від м'язових веретен сухожильні органи лежать послідовно по відношенню до м'язових волокон. Завдяки такому розташуванню їх збудження виникає при нарузі м'яза. Сухожильні органи інформують нервові центри про ступінь напруги м'яза і про швидкість його розвитку.

Суглобові рецептори інформують про стан окремих частин тіла в просторі і відносно один одного. Розтягнення цих рецепторів при зміні суглобного кута викликає імпульсацію в аферентних волокнах. Одні суглобові рецептори посилають інформацію про величину суглобового кута, інші збуджуються тільки в момент руху в суглобі, тобто посилають інформацію про швидкість руху. Деякі суглобові рецептори безперервно інформують ЦНС про положення суглоба, інші збуджуються при зміні кута у суглобі.

Сигнали, що йдуть від рецепторів м'язових волокон, сухожильних органів, сухожильних сумок і тактильних рецепторів шкіри називаються кінестетичними, тобто інформують про рух тіла. Їх участь в довільній регуляції рухів проявляється по різному.

**Мета роботи:** визначити диференціальну чутливість рухового аналізатора.

**Для роботи необхідно:** кінестезіометр.

**Хід роботи.**

1. Піддослідний бере правою рукою пінопластову кульку, до якої прикріплено посудину, і держить її на вазі.

2. Через 3-5 сек. експериментатор відкриває затиск, після чого в посудину надходить вода.

3. Як тільки у піддослідного сформується відчуття збільшення ваги, він інформує про це експериментатора.

4. Останній припиняє надходження води в посудину.

5. Воду з посудини переливають в мірний циліндр і визначають її обсяг і вагу, яку і є порогом розрізнення ваги.

6. Вимірювання повторюють 16 разів.

7. Результати вимірювань заносять в протокол дослідження.

8. Обчислюють середню арифметичну величину досліджуваного показника.

Протокол дослідження. Пороги розрізнення ваги, г

| Ф.І.О.         | Число вимірів |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    | Σ (середнє арифметичне) |
|----------------|---------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|-------------------------|
|                | 1             | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |                         |
| 1. Петренко І. |               |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |                         |

**Висновок:** диференційований поріг кінестетичного аналізу в середньому дорівнює....

## РОЗДІЛ 5

## ФІЗІОЛОГІЯ ШКІРНОГО АНАЛІЗАТОРА

**Теоретичне обґрунтування.**

Шкіра людини - складний орган, що виконує численні функції: захисну, видільну, секреторну, тактильну. Зовнішня поверхня шкіри являє собою величезне рецепторне поле, яке є периферичною частиною шкірного аналізатора. Кірковий кінець даного аналізатора розташований в області задньої центральної звивини. Розрізняють чотири види шкірної рецепції: теплову, холодову, больову і тактильну. Останню забезпечують спеціальні тактильні рецептори, які чутливі до механічної стимуляції - дотику, тиску, розтягування, вібрації. Вони належать до групи первинно-чутливих рецепторів і мають різну морфологію - вільні нервові закінчення, що лежать в поверхневому шарі шкіри та сприймають легкий дотик і інкапсульовані (тільця Пачіно, Мейснера, диски Меркеля і ін.), що залягають в глибоких шарах шкіри і служать для рецепції тиску і розтягування.

Тактильні рецептори поділяють також на фазні і статичні. Перші найбільш чутливі до зміни швидкості руху, другі - до постійного дії стимулу. Але не слід забувати, те, що прийнято називати дотиком, є складним рецепторним комплексом, що виникає при подразненні рецепторів, які відносяться до різних видів шкірної чутливості. Кінестетична чутливість - це складна, комплексна чутливість, що включає в себе «статичну» і «кінетичну» пропріорецепцію.

Статична пропріорецепція - це м'язова чутливість, яка відіграє роль при оцінці розмірів і ваги нерухомих предметів. Кінетична («динамічна») пропріорецепція - це вид рецепції, який доставляє центральній нервовій системі «відомості» про кожен руховий акт, що виконується (оцінка відстаней, напрямків, тривалості, швидкостей). Кінетична пропріорецепція, в свою чергу, може бути розділена на сприйняття пасивних і активних рухів. Кінестетичний аналізатор відіграє роль внутрішнього каналу зв'язку між усіма аналізаторами і в силу цього займає серед них особливе положення.

**Лабораторна робота № 7****7.1. Визначення відносних і абсолютних порогів розрізнення маси  
(експериментальна перевірка закону Вебера-Фехнера)**

Кожна сенсорна система сприймає дію адекватного подразника в обмеженому діапазоні значень його сили. Найменший за інтенсивністю стимул, здатний викликати відчуття, називається порогом відчуття. Величина, на яку один стимул надпорогового діапазону повинен відрізнятися від іншого, щоб їх різницю можна було суб'єктивно розрізнити, отримала назву диференціального порогу або порогу розрізнення. Е.Вебер (1831) встановив, що:

➤ для розрізнення ваги двох предметів їх різниця повинна бути більше, якщо обидва вони важкі і менше, якщо обидва вони легкі - це абсолютний поріг відмінності -  $\Delta I$ .

➤ відносний поріг, тобто відношення мінімального приросту вантажу ( $\Delta I$ ) до його початкової величини ( $I$ ) -  $\Delta I / I$  не залежить від абсолютної ваги порівнюваних вантажів, а є величина постійна:

$\Delta I / I = k$  (*константа*). Це відношення було названо **відношенням Вебера** або різницевим порогом.

Г. Фехнер (1860) сформулював «**основний психофізичний закон**» по якому сила відчуття  $S$  пропорційна логарифму інтенсивності подразника  $I$ :

$$S = \frac{k \log I}{I_0},$$

де  $I_0$  - порогове значення інтенсивності подразника.

Ця залежність, що отримала назву **закону Вебера-Фехнера**, показує, що лінійне збільшення інтенсивності відчуття відображає логарифмічне зростання інтенсивності подразника. Цей закон виконується для багатьох сенсорних модальностей для подразників середньої інтенсивності: для порогових подразнень, а для дуже сильних подразнень закон Вебера-Фехнера вимагає поправок.

**Мета роботи:** перевірка закону Вебера-Фехнера для кінестетичної чутливості маси.

**Для роботи необхідно:** набір гирьок від 1 до 200 г.

**Хід роботи.**

Досліджуваний закриває очі і кладе руку на стіл долонею вгору, злегка розчепіривши пальці. Протягом усього дослідження пальці повинні стикатися зі столом. Скляна пластинка, зігріта до температури тіла, укладається на середню фалангу середнього пальця. Експериментатор кладе гирю на пластинку, а потім через 3 с змінює її на іншу. Досліджуваний повідомляє, чи була друга гиря важча, легша чи така ж, як перша (дані заносяться в протоколу досліджень).

Проведіть дослідження з різними гирьками масою 5, 10, 25, 50, 100, 150, 200 г. Міняйте гирі без будь-якої системи, іноді накладайте два рази поспіль одну і ту ж вагу.

Виконайте велику кількість спостережень і встановіть найменшу різницю у вазі, при якій вона відчувається. Ця найменша різниця називається абсолютним порогом розрізнення ( $\Delta I$ ). Під відносним порогом розрізнення розуміють відношення абсолютного порога розрізнення до ваги, при якій проводиться визначення -  $\Delta I / I$  - це різницевий поріг.

## Протокол дослідження

| Вихідна вага, г | Вага в грамах, що відзначається як сильніший, ніж вихідна вага | Абсолютний поріг розрізнення $\Delta I$ | Приріст роздратування в % (різницевий поріг) $\Delta I / I$ |
|-----------------|--|---|---|
|                 |  |   |   |

Отримані дані внесіть в протокол досліджень. Зробіть висновки.

### 7.2. Дослідження адаптації шкірного аналізатора

Сенсорна адаптація - загальна властивість всіх сенсорних систем, що полягає в пристосуванні (звикання) до тривалодіючого подразника. Адаптація проявляється в зниженні чутливості сенсорної системи.

**Мета роботи:** визначити залежність часу настання адаптації від маси вантажу.

**Для роботи необхідно:** набір гирьок від 20 до 200 г, секундомір.

**Хід роботи.**

Досліджуваний сидить на стільці, закривши очі, на тильну поверхню долоні кладуть вантаж масою 20 г. Визначити час зникнення відчуття тиску на шкірну поверхню. Зняти вантаж.

Повторити дослід, збільшуючи масу вантажу (50, 100, 200 г)

Побудувати графік залежності часу настання адаптації від маси вантажу, тобто сили шкірного роздратування. Зробити висновки.

#### ***Контрольні питання***

1. Які Ви знаєте види шкірної рецепції?
2. Що таке дотик?
3. Які функції виконують тактильні рецептори?
4. На які чотири основні види діляться тактильні рецептори?
5. Вкажіть різновиди проприорецепторів і їх локалізацію.
6. Яка функція проприорецепторів?
7. Що називають порогом відчуття?
8. Що називають порогом розрізнення?
9. Сформулюйте закон Вебера про пороги розрізнення сили чинного подразника. Наведіть відповідну формулу.
10. Що називають просторовим порогом тактильної чутливості, чому він дорівнює на шкірі спини і кінчиках пальців?

## РОЗДІЛ 6

## ФІЗІОЛОГІЯ СМАКОВОГО АНАЛІЗАТОРА

**Теоретичне обґрунтування.**

Смакові рецептори відіграють важливу роль в житті організму, визначаючи разом з нюховими рецепторами харчові поведінкові акти. Збудження смакових рецепторів призводить до рефлекторного виділення травних секретів. Рецептори смаку представлені смаковими цибулинами. Це утворення овальної форми, в яких містяться рецепторні (смакові) клітини. Вершина смакової цибулини відкривається у смакову ямку. Смакові клітини несуть на апікальному кінці численні тонкі вирости - мікрівілли, занурені в рідину смакової ямки. Мікрівіллам рецепторних клітин надають основне значення в сприйнятті смакового подразнення, так як їх мембрана містить специфічні рецептори та іонні канали.

Приєднання до специфічних рецепторів молекул, що володіють солодким смаком, активує систему вторинних посередників аденілатциклази - циклічного аденозинмонофосфату, які закривають мембранні канали іонів калію, і тому мембрана рецепторної клітини деполяризується.

Речовини, що мають гіркий смак, активують одну з двох систем вторинних посередників: 1) фосфоліпазу С-інозитол-3-фосфат, що призводить до виходу з внутрішньоклітинного депо іонів кальцію з наступним виділенням медіатора з рецепторної клітини; 2) специфічний О-білок гаструцину, який регулює внутрішньоклітинну концентрацію цАМФ, яка управляє катіонними каналами мембрани і цим визначає виникнення рецепторного потенціалу.

Дія на рецептори молекул, що мають солоний смак, супроводжується відкриттям керованих натрієвих каналів і деполяризації смакової клітини. Речовини, які мають кислий смак, закривають мембранні канали для іонів калію, що веде до деполяризації рецепторної клітини. Виникнення рецепторного потенціалу призводить до виділення медіатора з синаптичної області і генерації потенціалу дії в закінченнях аферентних волокон і передачі інформації в центральні відділи смакового аналізатора. Іннервація смакової області проходить в складі VII, IX та X пари черепно-мозкових нервів.

Смакові цибулини зосереджені в різних за типом смакових сосочках язика, ротової порожнини, глотки і стравоходу. Показано, що приблизно 25-30 % сосочків чутливі до одного з 4 основних смакових стимулів (солодкого, кислого, солоного або гіркого), решта - до двох, трьох або навіть чотирьох стимулам. Різні ділянки язика мають неоднакову здатність сприймати ці смакові подразнення. Так, кінчик язика найбільш чутливий до солодкого, його краю - до кислого і солоного, корінь - до гіркого. Середня частина спинки язика не володіє високою чутливістю по відношенню до всіх смакових подразнень (рис. 11). Діти реагують на всі чотири смакові відчуття (солодке, солоне, кисле і гірке), але не всі види смакової чутливості

з'являються одночасно. Раніше з'являється чутливість до солодкого, потім до кислого, соленого і гіркого. Смакова чутливість у дітей раннього віку знижена. З віком смакова чутливість язика підвищується.

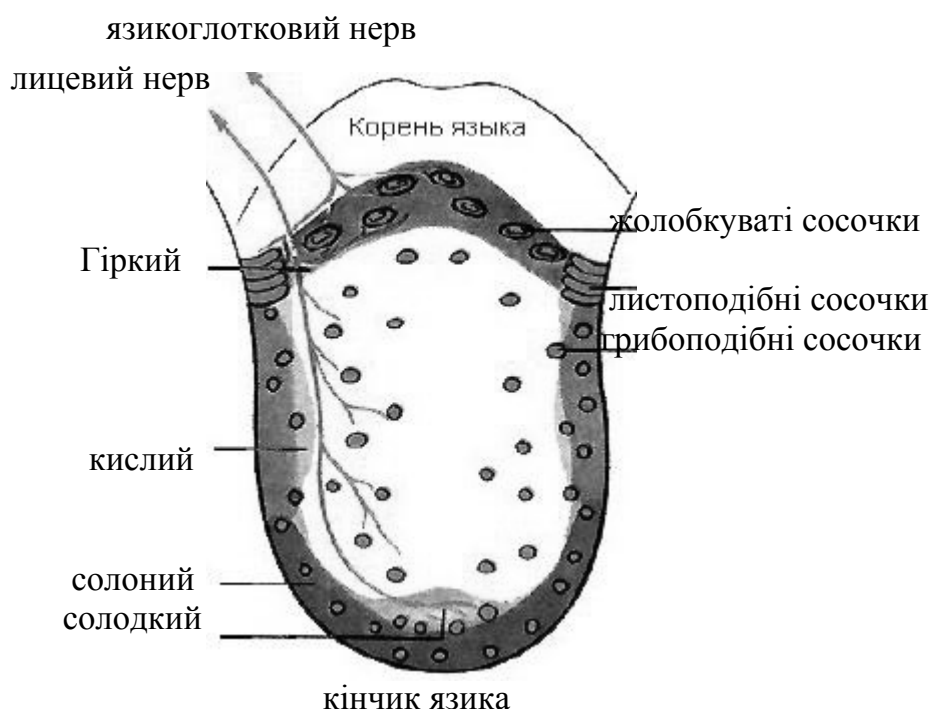


Рис. 11. Смакова карта, схема будови та іннервації язика

### Лабораторна робота № 8

#### 8.1. Визначення порогової смакової чутливості

**Мета роботи:** визначити чутливість окремих ділянок язика до різних смакових подразників.

**Для роботи необхідно:** 1% -ний розчин солянокислого хініну (гірке), 2% -ний розчин лимонної кислоти (кисле), 10% -ний розчин хлориду натрію (солоне), 40% -ний розчин сахарози (солодке), штатив з бюксами, скляні палички, стакан з дистильованою водою, порожня склянка.

#### **Хід роботи.**

Студенти працюють парами (експериментатор і піддослідний).

Експериментатор по черзі на різні ділянки язика (кінчик, край, середня частина спинки, корінь) піддослідного завдає скляною паличкою крапельки розчину хініну, цукру, кухонної солі і лимонної кислоти. Піддослідний не повинен знати заздалегідь, який розчин наноситься йому на ту чи іншу ділянку язика. Завдання піддослідного - визначити смак розчину. Після кожного нанесення того чи іншого розчину піддослідний повинен прополоскати рот дистильованою водою.



На підставі відповідей піддослідного складіть карту (малюнок-схему) смакової рецепції язика, використавши при цьому спеціальні значки. Наприклад, хрестик - солодкий смак, ромб - гіркий, кружечок - кислий, квадратик - солоний.

Зробіть відповідні висновки.

Таблиця 4. Пороги сприйняття для різних смаків

| Смакова якість | Речовини        | Поріг сприйняття (ммоль/л) |
|----------------|-----------------|----------------------------|
| Гірке          | Сульфат хініну  | 0,000008                   |
| Кисле          | Лимонна кислота | 0,0023                     |
| Солодке        | Глюкоза         | 0,08                       |
|                | сахарин         | 0,000023                   |
| Солоне         | Хлорид натрію   | 0,01                       |

## 8.2. Визначення смакової адаптації

Смакова адаптація полягає в пристосуванні рецепторів язика до тривалого впливу подразника. Процеси адаптації до різних смакових речовин протікають незалежно один від одного.

**Для роботи необхідно:** розчини солянокислого хініну 0,1; 0,01; 0,001; 0,0001 %; лимонної кислоти 1; 0,1; 0,01; 0,001 %, хлориду натрію 1, 0,1, 0,01, 0,001 %, сахарози 20, 10, 1, 0,1 %, очна піпетка, стакан з дистильованою водою, порожня склянка.

### **Хід роботи.**

Після визначення порогів для солодкого, гіркого, кислого і солоного випробуваному пропонують взяти в рот 10 мл 10% розчину сахарози і, не ковтаючи, тримати його в роті протягом 1 хвилини. Після цього розчин сахарози необхідно виплюнути і швидко обполоснути рот дистильованою водою. Потім через різні проміжки часу (5 с, 1 і 5 хв) після адаптації знову визначити поріг для солодкого. Також провести адаптацію до кислого, гіркого і солоного. Побудувати графіки залежності порогів для різних речовин від часу адаптації.

Зробіть висновки.

## 8.3. Визначення смакового контрасту і змішання смаків

Всі смакові речовини, що вживаються нами в їжу мають складний змішаний смак, в якому чотири основних смакових подразнень знаходяться в найрізноманітніших поєднаннях. Застосування декількох смакових подразників одночасно або послідовно дає ефекти смакового контрасту або змішання смаку.

**Для роботи необхідно:** 2%-ний розчин лимонної кислоти, 10%-ний розчин хлориду натрію, 40%-ний розчин сахарози, очна піпетка, стакан з дистильованою водою, порожній стакан, 6 пробірок.

***Хід роботи.***

Визначити смак наступних сумішей:

- 1) 2 мл 40 % розчину сахарози + 2 мл 2 % розчину лимонної кислоти
- 2) 1 мл 40 % розчину сахарози + 2 мл 2 % розчину лимонної кислоти
- 3) 3 мл 40 % розчину сахарози + 1 мл 2 % розчину лимонної кислоти
- 4) 1 мл 40 % розчину сахарози + 3 мл 2 % розчину лимонної кислоти.

Між пробами необхідно робити інтервали в 4 хвилини і обполіскувати рот дистильованою водою.

**Смаковий контраст**

У дві пробірки налити по 0,5 мл 40 % розчину сахарози і 10 мл дистильованої води. Потім в одну з пробірок додати 1 краплю розчину кухонної солі. Визначити смак розчину в обох пробірках. Випробуваному на язик капнути 2 % розчин лимонної кислоти. Через 1-2 с досліджуваний повинен взяти в рот дистильовану воду і визначити смак розчину. Опишіть отримані результати.

Зробіть висновки.

**8.4. Дослідження адаптації нюхового аналізатора**

Адаптація в нюховому аналізаторі відбувається порівняно повільно (десятки секунд або хвилини) і залежить від швидкості потоку повітря над нюховим епітелієм і концентрації пахучої речовини.

***Для роботи необхідно:*** ванілін, одеколон, спирт, вата, секундомір.

***Хід роботи.*** Досліджуваний повинен піднести до однієї ніздрі пробірку з пахучою речовиною і зробити часті (нюхальні) вдихи (видих проводиться через рот) до тих пір, поки не зникне відчуття запаху взятої пахучої речовини. Визначити час настання адаптації нюхового аналізатора. Після настання адаптації через кожні 30 с підносити пробірку з тою ж речовиною і визначити час відновлення чутливості нюхового аналізатора. Опишіть отримані результати. Зробіть висновки.

***Контрольні питання.***

1. Як влаштований смаковий аналізатор? Які типи смакових подразників Ви знаєте?

2. В чому полягає механізм збудження смакової клітини?

3. Будова нюхового аналізатора.

4. Які пари спинномозкових нервів несуть інформацію про смак?

5. Яку систему вторинних посередників активують речовини, що володіють гірким і солодким смаком?

6. Як відбувається виникнення рецепторного потенціалу при дії на рецептори молекул, що мають солоний і кислий смак?

7. Чи змінюється смакова чутливість з віком?

8. Розкажіть про процеси адаптації до різних смакових речовин.

9. Що Ви можете розповісти про смакову контрастність і змішування смаків?

**Рекомендована література****Базова**

1. Физиология человека. / Под ред. В.М. Смирнова.- М.: Медицина, 2001.
2. Физиология человека: Учебник / Под ред. В.М. Покровского, Г.Ф. Коротько. - 3-е изд., перераб. и доп.- М.: «Медицина», 2003, 2011.
3. Фундаментальная и клиническая физиология / Под ред. А.Г. Камкина и А.А. Каменского,-М., 2004.
4. Шмидт Р. Физиология человека: в 3-х т./ под ред. Р. Шмидта и Г. Тевса; пер. с англ. М.: Мир, 1996, 2005.
5. Кучеров, І.С. Ф. Фізіологія людини / І.С. Кучеров., М.Н. Шабатура, І.М. Давиденко. – К. : Вища школа, 1981. – 406 с.
6. Чайченко Г. М. та ін. Фізіологія людини і тварин: Підручник. – К.: Вища школа, 2003. – 463 с.
7. Хорошуха, М.Ф. Функціональна діагностика : навч. посіб для студ. вищ. навч. закл. / М.Ф. Хорошуха, В.П. Мурза, М.П. Пушкар. – К. : Університет “Україна”, 2007. – 308 с.
8. Филимонов, В.И. Физиология человека : учебник / В.И. Филимонов. – К. : Медицина, 2008. – 816 с.

**Допоміжна**

1. Ганонг, Вільям Ф. Фізіологія людини : підручник / переклад з англ. наук. ред. перекладу М. Гжегоцький, В. Шевчук, О. Заячківська. – Львів : БАК, 2002 .– 784 с.
2. Безруких М.М. и др. Возрастная физиология: (Физиология развития ребенка). – М.: Академия, 2002. – С. 142 – 198.
3. Батуев А.С., Никитина И.П., Журавлев В.Л., Соколова И.Н. Малый практикум по физиологии человека и животных. – СПб.: Из-во С.-Петербургского ун-та, 2001. – 38 с.
4. Гушинский А.А. и др. Руководство к лабораторным занятиям по общей и возрастной физиологии: Учебн. пособие для студентов биол. спец. пед. ин-тов. – М.: Просвещение, 1990. – 239 с.
5. Ноздрачев А.Д. и др. Общий курс физиологии человека и животных. – М.: Высш. шк., 1991. – кн.2. – С. 274 – 316.
6. Солодков А. С., Сологуб Е.Б. Физиология человека. Общая. Спортивная. Возрастная: Учебник. – М.: Тера-Спорт, Олимпия Пресс, 2001. – С. 378 – 414.

*Навчальне видання*

**Укладачі:**

Іонов Ігор Анатолійович

Комісова Тетяна Євгеніївна

## **ФІЗІОЛОГІЯ СЕНСОРНИХ СИСТЕМ**

**Методичні рекомендації  
для студентів вищих навчальних закладів  
до лабораторних занять з курсу  
«Фізіологія людини»  
Частина 2. Фізіологія сенсорних систем**

**Відповідальний за випуск: Іонов І.А.**

**Комп'ютерна верстка: Іонов І.А.**

**Коректор: Коваленко Л.П.**

Підписано до друку 20.08.2018 р. Формат 60x84/16.  
Папір офсетний. Гарнітура Times ET. Умов.-друк. арк. 2,5.  
Наклад 100 прим. Замов. № 0820/6-18.

---

Надруковано з готового оригінал-макета у друкарні ФОП В. В. Петров  
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.  
Запис № 2480000000106167 від 08.01.2009 р.  
61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. (057) 78-17-137.  
e-mail:bookfabrik@mail.ua